MESSUNG DER STRÖMUNGSGESCHWINDIGKEIT IN DER A. FEMORALIS MITTELS DER FERNSEHKYMOGRAPHIE

Klaus Dieter Wölfle

1976

Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41553810_0036

AUS DER KLINIK UND POLIKLINIK
FÜR RADIOLOGIE
DER UNIVERSITÄT MÜNCHEN

Direktor: Prof. Dr. J. Lissner

MESSUNG DER STRÖMUNGSGESCHWINDIGKEIT IN DER A. FEMORALIS MITTELS DER FERNSEHKYMOGRAPHIE

Inaugural - Dissertation
zur Erlangung der Doktorwürde in der gesamten Medizin
verfaßt und einer Hohen Medizinischen Fakultät
der Ludwig Maximilians-Universität zu München

vorgelegt von

Klaus Dieter Wölfle
aus Augsburg
1976

Mit Genehmigung der Medizinischen Fakultät der Universität München

Berichterstatter: Prof. Dr. J. Lissner

Dekan: Prof. Dr. W. Spann

Tag der mündlichen Prüfung: 4. 5. 1976

UNIV.
LEIDEN
BIBL.

Druck und Einband:
NCR Augsburg

Ausführung der Zeichnungen:
Lutz Jarasch, Designer

Seite

1.0 Einleitung 1

2.0 Allgemeiner Teil 2

2.1 Anatomie der a.femoralis und der Unterschenkelarterien 2

2.2 Hämodynamik des Arteriensystems 5

2.2.1 Laminare Strömung 5

2.2.2 Auftreten von Turbulenzen 6

2.2.3 Strömungsgeschwindigkeit und Krümmung 7

2.2.4 Strömungsgeschwindigkeit und Bifurkation 8

2.2.5 Strömungsgeschwindigkeit und Stenose 8

2.2.6 Hämodynamik der Aorta 9

2.2.7 Hämodynamik der a. femoralis 11

2.2.8 Entstehung des Kollateralkreislaufes bei Verschluß der a.f.s. 15

2.2.9 Restdurchblutung bei Stenosen und Verschlüssen 17

3.0 Eigene Versuche 19

3.1 Technik der Arteriographie der a.femoralis 19

3.2 Technik der Videokymographie 23

3.3 Anfertigung des Kymogramms 30

3.4 Technik der Auswertung 31

3.5 Grenzen der kymographischen Geschwindigkeitsmeßmethode 34

Seite

4.0 Ergebnisse 35

4.1 Untersuchtes Patientengut 35

4.1.1 Anamnese, röntgenologische Befunde und ermittelte Strömungsgeschwindigkeiten der untersuchten Patienten 37

4.2 Änderung der Geschwindigkeit in der a.f.s. in Abhängigkeit von Stenosen bzw. Verschlüssen 60

4.2.1 Übersicht über die gemessenen Geschwindigkeiten in Abhängigkeit vom morphologischen Befund 62

4.2.2. Graphische Darstellung der Mittelwerte und Standardabweichungen der verschiedenen Gruppen 66

4.2.3 Zusammenfassung der Geschwindigkeitsänderungen bei Einengungen bzw. Verschlüssen des Arterienquerschnitts 67

4.3 Ausgewähltes Bildmaterial 76

4.4 Verhältnis des Stromvolumens von a.f.s./ a.f.p. bei verschiedener Lokalisation des Verschlusses in der a.f.s. 81

4.5 Vergleich der Geschwindigkeit in a.f.s. und a.f.p. bei Lumeneinengungen größer 50 % bzw. bei Verschlüssen 84

4.6 Kymographie und parabolisches Geschwindigkeitsprofil 85

4.7 Kymographie und diastolischer Rückfluß 87

5.0 Diskussion und Vergleich der Ergebnisse mit anderen Autoren 88

5.1 Strömungsgeschwindigkeiten 88

5.2 Gehleistung und Kollateralen 88

Seite

5.3 Durchblutung der arteriosklerotisch veränderten Oberschenkelgefäße 89

6.0 Zusammenfassung 91

7.0 Literatur 93

1.0 Einleitung

In der hier vorliegenden Arbeit wurde mittels der Videoflächenkymographie die Durchflußgeschwindigkeit der a. femoralis superficialis (a.f.s.) in ihrem proximalen Verlaufsdrittel bestimmt.

Die Versuche wurden an einem größeren Patientenkollektiv in der Zentralen Röntgenabteilung der Poliklinik der Universität München im Anschluß an angiologische Routineuntersuchungen durchgeführt.

Dadurch sollte die unproblematische Anwendbarkeit dieses neuen Verfahrens in der Praxis unter Beweis gestellt werden.

Die Methode der Fernsehkymographie wurde an der Klinik und Poliklinik für Radiologie (Direktor: Prof. Dr. med. J. Lissner) in Zusammenarbeit mit den Forschungslaboratorien der Firma Siemens entwickelt.

2.0 Allgemeiner Teil

2.1 Anatomie der a. femoralis und der Unterschenkelarterien (18,23)

Die Kenntnis des Verlaufes der a. femoralis ist nötig, um angiokymographische Untersuchungen durchführen zu können. Die Oberschenkelarterie, die a. femoralis, ist die Fortsetzung der a. iliaca externa distal vom ligamentum inguinale.

Sie verläuft zunächst oberflächlich, nur bedeckt von der fascia lata, lateral von der vena femoralis und medial vom n. femoralis. Ihre weitere Verlaufsrichtung entspricht nun einer Linie, die von der Mitte des Leistenbandes zum medialen Epikondylus des Femur zieht.

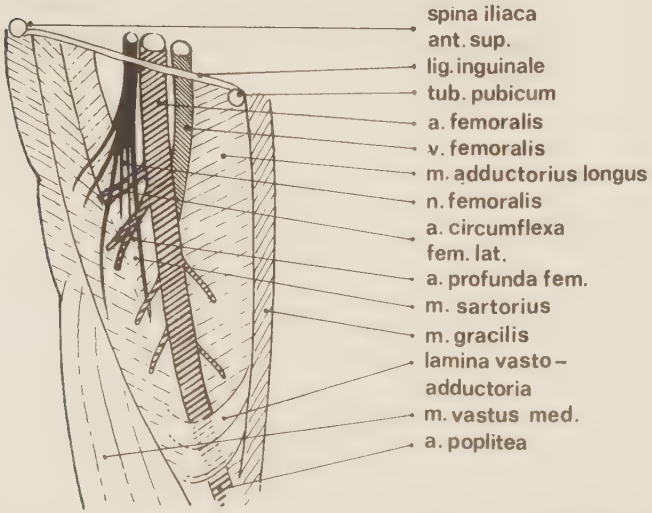
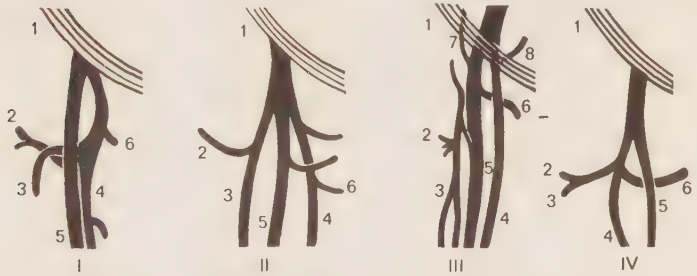


Abb. 1 Anatomische Verhältnisse im trigonum femorale

Bei der a. femoralis kann man drei Verlaufsformen unterscheiden:

1. Von der lacuna vasorum bis zum tibialen Rand des m. sartorius (fossa iliopectinea)
2. hinter dem m. sartorius
3. im Adduktoren-Kanal (fibular) lateral vom m. sartorius.

Sie verläßt den Adduktorenkanal durch den hiatus canalis adductorii, um als a. poplitea weiterzuziehen.



I = Regelfall: Abgang der a. profunda femoris 3 - 6 cm distal von der lacuna vasorum. II = Hohe Abgabe der a. profunda femoris. III = Hoher Abgang der a. profunda femoris;aa. circumflexae femoris lateralis et medialis sind Äste der a. femoralis. IV = Gesonderter Abgang der a. circumflexa femoris lateralis.

1 = Leistenband; 2 = Ramus ascendens und 3 = Ramus descendens a. circumflexae femoris lateralis; 4 = a. profunda femoris; 5 = a. femoralis superficialis; 6 = a. circumflexa femoris medialis; 7 = a. circumflexa ilium profunda; 8 = a. epigastrica inferior.

Abb. 2 Variationen der Verzweigungen der a. femoralis in der fossa iliopectinea (nach WELLAUER)

Die a. poplitea zieht über die Kniegelenkskapsel und gelangt über dem m. popliteus zur Soleusarkade (Sehnenbogen im Ursprung des m. soleus), wo sie sich in eine a. tibialis anterior et posterior teilt.

Die a. tibialis anterior geht proximal der membrana interossea nach vorne, verläuft auf ihrer ventralen Seite distalwärts und setzt sich hinter dem retinaculum mm. extensorum inferius als a. dorsalis pedis fort. Die a. tibialis posterior gelangt unter dem Sehnenbogen des m. soleus in die tiefe Flexorenloge, bedeckt vom tiefen Blatt der fascia cruris, zieht auf dem m. tibialis posterior nach distal, wo sie die a. fibularis abgibt. (22)

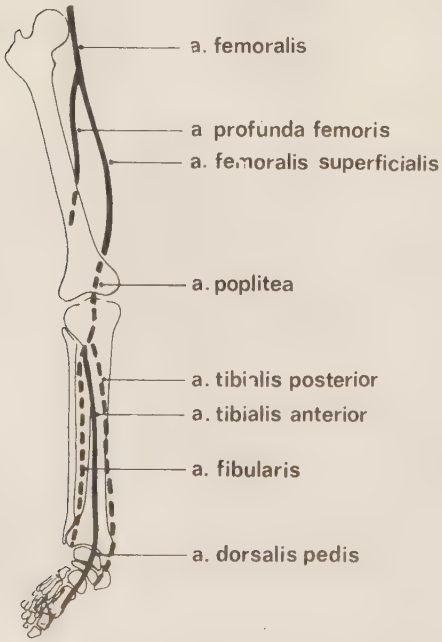


Abb. 3 Schematische Darstellung der großen Arterien am Bein

Im weiteren Verlauf gelangt sie hinter dem tibialen Knöchel zwischen die zwei Blätter des retinaculum mm. flexorum und teilt sich in eine a. plantaris medialis et lateralis.

Anschließend sei auf die etwas veränderte Nomenklatur in der Angiologie hingewiesen. In der deskriptiven Anatomie wird die Fortsetzung der a. iliaca externa von der lacuna vasorum ab bis zur Kniekehle als a. femoralis bezeichnet. In der Angiologie werden einzelne Gefäßabschnitte speziell benannt:

a. femoralis communis heißt die a. femoralis von der lacuna vasorum bis zum Abgang der a. profunda femoris, die in der Angiologie als a. femoralis profunda (a. f. p.) bezeichnet wird. Vom Abgang der a. f. p. bis zum Übergang in die a. poplitea wird der Rest der Oberschenkelarterie a. femoralis superficialis (a. f. s.) genannt (13).

2.2 Hämodynamik des Arteriensystems

2.2.1 Laminare Strömung

Die Blutströmung in den Gefäßen ist normalerweise laminar, d.h. die gefäßwandnahe Flüssigkeit bewegt sich relativ wenig, während die nach zentral anschließenden Flüssigkeitsschichten an Geschwindigkeit zunehmen. Im Zentrum des Blutstroms ist die Geschwindigkeit am höchsten (9).

Eine kritiklose Übertragung physikalischer Strömungsgesetze auf die Zirkulation beim Menschen ist problematisch, da die Blutgefäße keine starren Röhren sind und das Blut keine ideale Flüssigkeit darstellt.

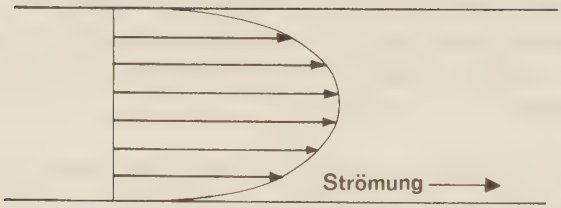


Abb. 4 Schematische Darstellung der Geschwindigkeiten konzentrischer Schichten einer viskösen Flüssigkeit, die in der Röhre strömt (parabolisches Strömungsprofil); vereinfacht nach GANONG.

2.2.2 Auftreten von Turbulenzen

Die Strömung in den Gefäßen ist diskontinuierlich: Auf einen hohen systolischen Geschwindigkeitsgipfel folgt annähernd Nullströmung in der Diastole. Dieses pulsierende Strömungsverhalten begünstigt das Auftreten von Turbulenzen (7,9)

Außer von der Geschwindigkeit ist die Wirbelbildung noch von dem Gefäßdurchmesser und der Viskosität des Blutes abhängig. Die entsprechende Formel:

$$R = \frac{\varrho \cdot D \cdot V}{\eta}$$

R = REYNOLDsche Zahl
ϱ = Dichte der Flüssigkeit
η = Viskosität der Flüssigkeit
V = Geschwindigkeit
D = Durchmesser des Gefäßes

gibt die Wahrscheinlichkeit für die Entstehung von Turbulenzen an, d.h. je größer R, desto wahrscheinlicher ist die Wirbelbildung. Der kritische Wert für R liegt bei 2400 (7).

Da $R \sim D \times V$ ist mit dem Auftreten von Wirbeln am ehesten in der Aorta während der Systole zu rechnen. In den Arterien treten Turbulenzen meist nur bei Einengungen der Strombahn auf; bei Anämien sind sie wegen der verminderten Blutviskosität häufiger. Subturbulente Strömungen beobachtet man auch an Bifurkationen und Stenosen.

2.2.3 Strömungsgeschwindigkeit und Krümmung

Das Strömungsverhalten an Krümmungen wurde von HEBERER-RAU-LÖHR näher untersucht. Dabei konnte festgestellt werden, daß die schnellsten axialen Stromfäden, die sogenannten Isotachen der höchsten Geschwindigkeit, im Krümmer durch die Zentrifugalkräfte an die Außenwand abgedrängt werden.

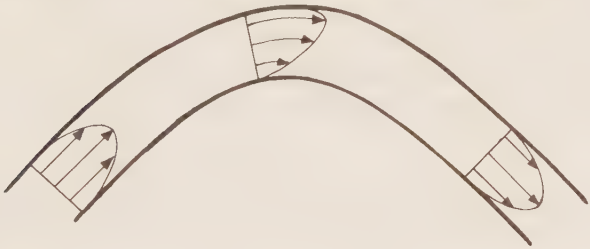


Abb. 5 Strömungsverhalten an Krümmungen (nach HEBERER et al.)

An der gegenüberliegenden Innenwand konzentrieren sich die Isotachen der langsamen Strömung. Die beschleunigte Strömung an der Außenwand des Krümmers wirkt über die gesteigerten Schubkräfte als Wachstumsreiz und weitet die Krümmerschlingung durch Oberflächenvergrößerung der Außenkrümmung aus (12). Die ausgeprägten Schlängelungen der Kollateralen würden sich in ihrer Entstehung nach diesen Feststellungen einfach erklären lassen.

2.2.4 Strömungsgeschwindigkeit und Bifurkation

Nach HEBERER et al. lassen sich die Strömungsverhältnisse an Bifurkationen von denen der Krümmerströmung ableiten, sofern man sich eine Bifurkation aus zwei Krümmern entgegengesetzter Biegung zusammengesetzt vorstellt.

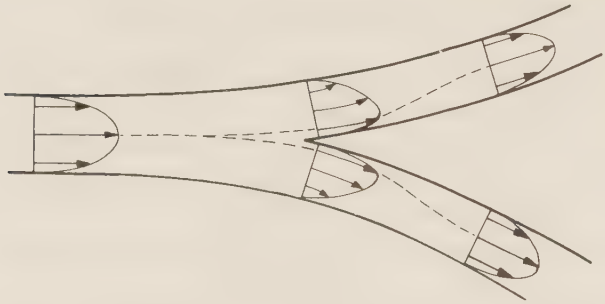


Abb. 6 Strömungsverhalten an Bifurkationen (nach HEBERER et al.)

Die Isotachen raschester Geschwindigkeit, die im Hauptgefäß zentral liegen, teilen sich am Sporn und verlaufen entsprechend den Gesetzen der Zentrifugalkraft an der dem Sporn zugehörigen Gefäßwand der beiden Äste entlang. Erst in einem gewissen Abstand von der Teilungsstelle gelangen die Isotachen der schnellsten Geschwindigkeit wieder ins Zentrum des Gefäßlumens (12).

2.2.5 Strömungsgeschwindigkeit und Stenose

Die Stromstärke in Stenosen ist abhängig vom Ausmaß der Stenose und dem Abflußwiderstand.

Abb. 7 Strömungsverhalten an Stenosen
(nach HEBERER et al.)

Funktionell wird eine Einengung erst bedeutend, wenn der Strömungswiderstand in der Stenose größenordnungsmäßig im Bereich des peripheren Widerstands liegt, d.h. je geringer der periphere Widerstand, desto stärker wirkt sich die Verengung aus. Im Bereich der Stenose und in stenosenahen Abschnitten erhöht sich die Geschwindigkeit, solange das Stromvolumen konstant bleibt. Im poststenotischen Anteil kommt es zur Wirbelbildung und nachfolgender Arteriendilatation (12).

2.2.6 Hämodynamik der Aorta

Während der Austreibung in der Systole werden etwa 70 ml Blut aus dem linken Ventrikel in die Aorta gepumpt. Die maximale Austreibungsstärke wird während der ersten 0,1 sec der Systole (0,2 bis 0,3 sec) erreicht, danach sinkt sie bis auf Null ab (9,16).

Beim Schluß der Aortenklappe findet sich ein Rückstrom, also eine negative Strömung (vgl. 2.2.7).

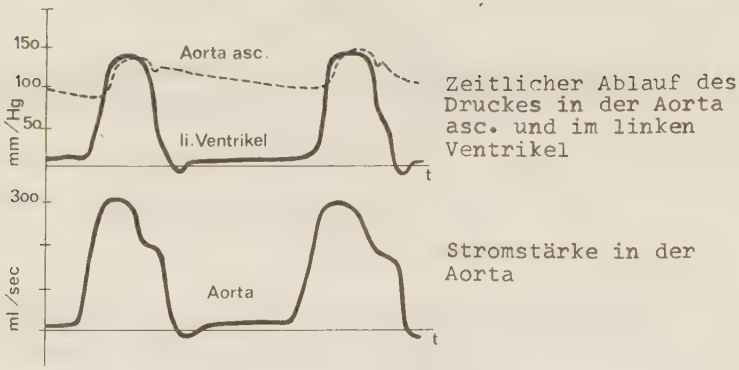


Abb. 8 Druck- und Stromstärkeverlauf in der Aorta während einer Herzaktion beim Hund nach E. WETTERER

In der nun folgenden Diastole, d.h. bis zum Beginn der nächsten Austreibung steht das Blut in der Aorta im wesentlichen still.

Beim Auswurf wird das im Anfangsteil der Aorta enthaltene Blut beschleunigt, womit eine Druckerhöhung einhergeht, die eine Dehnung der elastischen Aortenwand zur Folge hat. Dabei kommt es zu einer lokalen Speicherung von Blut, welches bei der Entdehnung in der Diastole wieder freigegeben wird. Trotz des durch die diastolische Entdehnung entstehenden Vorwärtsstroms bleibt die diastolische Geschwindigkeit in der Aorta und der a. femoralis minimal.

Dagegen sind die diastolischen Geschwindigkeiten in Arterien, die viscerale Organe versorgen, noch beträchtlich hoch. BARTL (6) vermutet, daß der Windkessel hauptsächlich für die Durchblutung innerer Organe während der Diastole zuständig ist.

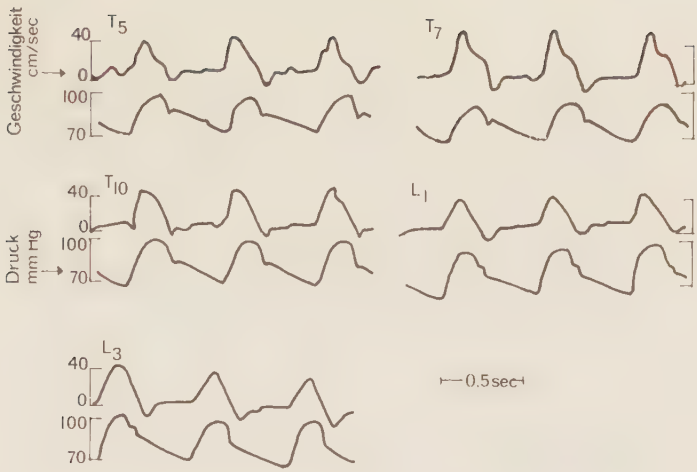


Abb. 9 Blutgeschwindigkeit und Druck in der absteigenden Aorta in Höhe von T-5, T-7, T-10, L-1, L-3 .... nach GABE et al.

2.2.7 Hämodynamik der a. femoralis

2.2.7.1 Geschwindigkeitskurven der a. femoralis

Über das Aussehen der Strömungsgeschwindigkeitskurven der a. femoralis gibt es in der Literatur nur geringfügig von einander abweichende Vorstellungen.

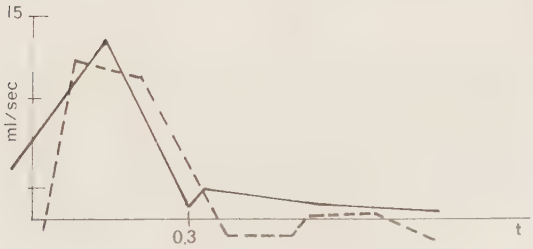


Abb. 10 Graphische Darstellung der Blutströmung in der a. femoralis vereinfacht nach ANSCHÜTZ/HEUCK (3)

ANSCHÜTZ (3) hat obiges Modell einer arteriellen Geschwindigkeitskurve 1959 mit Hilfe der Serienangiographie erstellt. Der ausgezogene Kurvenverlauf (s. Abb. 10) stammt von einer gesunden Versuchsperson, während der gestrichelt markierte Strompuls bei einem Patienten mit Aortensklerose aufgenommen wurde. Es ist deutlich zu erkennen, daß das Blut nur systolisch vorwärtsströmt.

In weiteren Arbeiten beschreibt ANSCHÜTZ, daß vor allem bei arteriosklerotischen Wandveränderungen der diastolische Strompuls gleich Null ist (5,2).

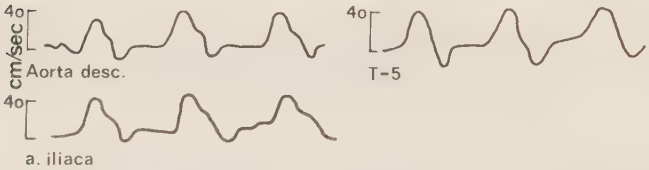


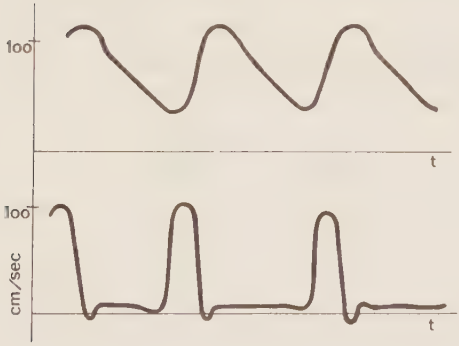
Abb. 11 Blutgeschwindigkeit in der Aorta descendens in Höhe von T - 5 und in der a. iliaca. (vereinfacht nach GABE et al.)

Auch GABE (8) schließt aus seinen auf elektromagnetischem Wege vorgenommenen Messungen zwar nicht direkt für die a. femoralis, aber doch bis zum Niveau der a. iliaca, daß es während der mittleren und späten Diastole zu keiner wesentlichen Strömung kommt.

GABE sieht das Problem des diastolischen Rückflusses in der a. femoralis wie folgt:
Der diastolische Rückfluß ist besonders deutlich im distalen Abschnitt der Aorta, hauptsächlich in Höhe von L - 3. In der a. iliaca ist diese Erscheinung

wenig ausgeprägt, da die nach vorwärts gerichtete Geschwindigkeit ausreichend hoch ist, um einen tatsächlichen Rückfluß zu verhindern.

Nach THURAU und BARTL (6) kommt es in der Aorta abdominalis normalerweise zu keinem Rückfluß in der Diastole. Nach einer hohen systolischen Spitzengeschwindigkeit ist dagegen in der a. femoralis ein kurzer diastolischer Rückfluß festzustellen.



Strömungsgeschwindigkeit in der Aorta abdominalis

in der a. femoralis

Abb. 12 Strömungsgeschwindigkeit in der Aorta abdominalis und a. femoralis nach K. THURAU zitiert bei R. BARTL

Wenn auch das Phänomen des diastolischen Rückflusses in Aorta und a. femoralis umstritten bleibt, wird doch allgemein anerkannt, daß

1. die größte Geschwindigkeit und damit auch das größte Flußvolumen während der Systole auftritt.
2. im Verlauf der Diastole besonders bei Patienten mit arteriosklerotischen Veränderungen der Gefäße Nullströmung herrscht.

2.2.7.2 Auf die Strömungsgeschwindigkeit wirkende Faktoren

Die Strömungsgeschwindigkeit ist nach WETTERER (24) in der a. femoralis von folgenden Faktoren abhängig:

1. Herztätigkeit
   Pathologische Erscheinungen am Herzen, wie Klappenfehler, Herzinsuffizienz, verändern den Strömungsverlauf. So zeigten OKINO und Mitarbeiter (zitiert bei 24) für verschiedene Arterien und auch für die a. femoralis, daß allein eine wesentliche Senkung der Herzfrequenz, die mit einer Erniedrigung der Grundströmung einhergeht, eine Rückstromphase erzeugen oder einen vorhandenen Rückstrom verstärken kann.

2. Windkesselfunktion und peripherer Widerstand

   Durch die diastolische Entdehnung der Aortenwand wird das Speichervolumen der Aorta freigesetzt und dient der diastolischen Blutversorgung der Organe. Allerdings können die elastischen Kräfte den hohen peripheren Widerstand der Extremitäten nur schwer überwinden und versorgen deshalb vor allem die visceralen Organe mit Blut (24).

3. Anatomische Verhältnisse

   Die a. femoralis ist sehr lang und kann bereits durch geringe Dehnung einen Teil des systolischen Stromstoßes aufnehmen. So läßt sich die kurzzeitige, hohe Strömungsgeschwindigkeit zu Beginn der Systole erklären.

4. Der diastolische Rückfluß in der a. femoralis und in der Aorta abdominalis kann nicht durch den Schluß der Aortenklappe erklärt werden.

Vielmehr ist er durch eine periphere positive Wellenreflexion bedingt.

2.2.8 Entstehung des Kollateralkreislaufes bei Verschluß der a. femoralis.

Nach den Ausführungen von HILD-BRECHT-NOBBE (14) beginnt die Ausbildung von Kollateralen mit der Entstehung einer Druckdifferenz als Folge der Einengung zwischen zwei Punkten einer Arterie. Um den niedrigen peripheren Druck auszugleichen, wird über Kapillaren bzw. anatomisch präformierte Anastomosen Blut zu Seitenästen der poststenotischen Anteile der obliterierten Arterie transportiert. Dabei kommt es im Bereich dieser Seitenäste zur Stromumkehr.

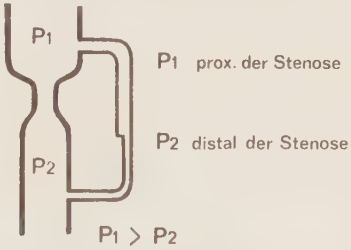


Abb. 13 Druckgradient infolge Obliteration führt zur Ausbildung eines Kollateralkreislaufes (nach WAIBEL)

Die Entwicklung erfolgt allmählich, so daß es bei langsamer Stenosierung zur Ausbildung leistungsfähiger Kollateralkreisläufe kommen kann. Andererseits erreichen sie jedoch nie die volle Anpassungsfähigkeit an erhöhte funktionelle Belastung.

Die Ausbildung des Kollateralkreislaufes ist intensiver, wenn der distale Druck stärker absinkt. Dies wird erreicht durch die Senkung des peripheren Widerstandes bei funktioneller Belastung (Gehen) oder durch therapeutische Maßnahmen (Sympathektomie). Über die Entstehung der Kollateralarterien gibt es noch keine einheitliche Meinung.

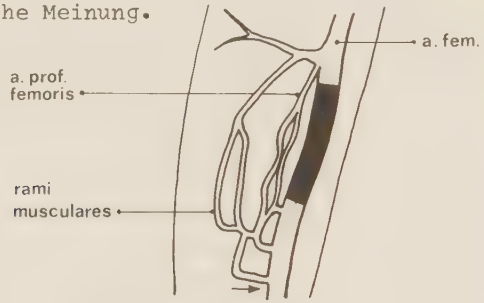


Abb. 14 Schematische Darstellung der a. femoralis und ihrer Äste: Ausbildung von Kollateralen und Stromumkehr (nach HESS)

HESS (13) gibt an, daß der physiologische Reiz für die Weitung der Kollateralarterien der erhöhte Blutstrom infolge Reduzierung der poststenotischen Widerstände sei. Dadurch steigt die Wandbelastung; es kommt zur Hypertrophie und zum Umbau der Gefäßwand. Nach DE TAKATS und PIRANI (zitiert bei 13) reagiert jedes Gefäß auf vermehrten intralaminalen Druck mit einer Verlängerung, die nach Aufhören des Druckes wieder zurückgeht, vorausgesetzt, daß das betreffende Segment im Besitz seiner vollen Elastizität ist. Bei Anwendung obiger Angaben auf die a. femoralis kann gesagt werden, daß bei Verschluß dieser Arterie ein leistungsfähiger Kollateralkreislauf über die selten

verschlossene a.f.p. möglich ist. Je ausgedehnter die Verschlüsse und damit auch die zu überbrückenden Strecken sind, um so stärker wird der Widerstand im Kollateralsystem. Dadurch kommt es zu einer Senkung der Leistungsfähigkeit.

2.2.9 Restdurchblutung bei Stenosen und Verschlüssen

Unter Restdurchblutung versteht man die Blutmenge, die nach Einengung bzw. Verschluß einer Transportarterie das von ihr abhängige Gebiet noch versorgt. Sie ist anfangs abhängig von der Qualität der Stenose, später in erster Linie von der Leistungsfähigkeit des Kollateralkreislaufes. (21)

Über die Quantität der Ruhedurchblutung bei Stenosen bestehen in der Literatur unterschiedliche Meinungen. ANSCHÜTZ (2) gibt an, daß bei Patienten auch ohne Ruheschmerz deutlich herabgesetzte Stromvolumina auftreten. TISO (20) ist der Ansicht, daß bei Patienten mit obliterierenden Arteriopathien im Vergleich zu Gefäßgesunden die Ruhedurchflußvolumina global gesehen niedriger liegen, jedoch für den Einzelfall eine solche Aussage nicht immer unbedingt möglich ist. HESS (13) behauptet, daß die Ruhedurchblutung bei Gefäßpatienten in 80 % der Fälle mit 2 - 4 ml/ 100 ml Gewebe /min. annähernd genauso hoch sei wie bei Gefäßgesunden. AMERY (1) kommt in seinen Untersuchungen zu dem Ergebnis, daß bei Claudicatio intermittens Patienten die Ruhedurchblutung eine Tendenz zum Ansteigen zeigt. Bei WAIBEL (21) findet sich folgende Einteilung:

Stenose <1/3 des Lumens: Hämodynamische Veränderungen fehlen und von einer Durchblutungsstörung darf noch nicht gesprochen werden.

Stenose <2/3 des Lumens: Unter Ruhebedingungen keine hämodynamischen Veränderungen; aber es beginnt die Ausbildung von Kollateralen.

Stenose >90 % des Lumens: Der arterielle Druck ist poststenotisch herabgesetzt. Symptome sind häufig.

Multiple ausgedehnte Verschlüsse: Es treten hämodynamische Veränderungen (Zunahme des Druckgefälles über die Stenose) auf. Es kommt in den Extremitäten zu Blutverteilungsstörungen, indem bei vermehrter Durchblutung der Muskulatur eine Ischämie der Haut eintritt.

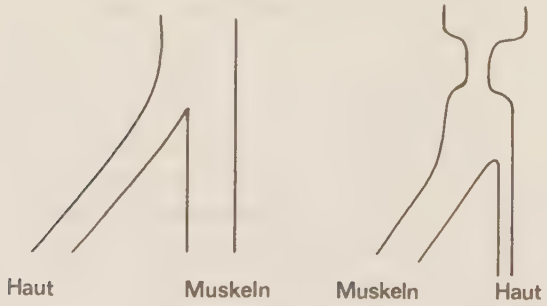


Abb. 15 Bei multiplen Verschlüssen der Strombahn erreicht nicht mehr genügend Blut die Peripherie, so daß bei vermehrter Durchblutung der Muskulatur eine Ischämie eintritt (Nach WAIBEL)

3.0 Eigene Versuche

3.1 Technik der Arteriographie der a. femoralis (13,23)

Durch die röntgenologische Darstellung mit KM kann das Ausmaß von Verschlüssen bzw. Obliterationen der Gefäße am besten sichtbar gemacht werden.

3.1.1 Vorbereitung des Patienten

Die Arteriographie der a. femoralis wurde meist ambulant am nüchternen Patienten durchgeführt. In geeigneten Fällen erfolgte eine Sedierung des zu Untersuchenden.

3.1.2 Lagerung des Patienten

Der Kranke liegt mit dem Rücken auf dem Untersuchungstisch. Die zu angiographierenden Extremitäten kommen dabei exakt über das Belichtungsfeld des Seriengerätes mit Blattfilmwechsler zu liegen.

3.1.3 Instrumente

Zur Arterienpunktion wird eine Spezialdoppelkanüle verwendet. Sie besteht aus einer stumpfen Außenkanüle, einer etwas längeren, spitzen Innenkanüle und einem Mandrin zum Verschluß der Innenkanüle.

3.1.4 Anästhesie

Die Punktion der Arterie ist nach Lokalanästhesie mit Novocain nahezu schmerzfrei. Dagegen verursacht die rasche Injektion des Kontrastmittels (KM)

infolge Reizwirkung auf die Gefäßintima einen für Sekunden anhaltenden Schmerz, der durch eine Lokalanästhesie nicht zu unterbinden ist. (13,23)

In der Arbeit wurden die Arteriographien ohne Vollnarkose durchgeführt.

3.1.5 Kontrastmittel

Es wurde ein hochprozentiges, trijodiertes KM (Urografin- 76 %ig) verwendet. Für die Femoralisarteriographie wurden 20 - 30 ml injiziert. Das KM wurde auf Körpertemperatur angewärmt, um so die Reizung der Gefäßintima zu verhindern und gleichzeitig die Viskosität des KM herabzusetzen.

3.1.6 Punktion

Die Punktion erfolgt unter aseptischen Kautelen unmittelbar unterhalb des Leistenbandes. Dabei wird mit der oben beschriebenen spitzen Innenkanüle das Lumen punktiert, während nach geglückter Punktion nur die konische Außenkanüle ins Lumen vorgeschoben wird. Das hat den Vorteil, daß bei unruhigen Patienten die Lage der Kanüle nicht verändert wird und andererseits die stumpfe Außenkanüle die Arterienwand nicht durchbohren kann. Bis zur KM-Injektion wird die Nadel durch ein Mandrin verschlossen. (13,23)

Abb. 16 Durchtritt der Doppelkanüle durch die Arterienwand. Nur der geringe Durchmesser der Innenkanüle schneidet das Gefäß ein. Die Ausweitung auf den Umfang der konischen Außenkanüle erfolgt durch Dehnung.(nach HESS)

Ist die a. femoralis der zu untersuchenden Seite nicht palpabel, ist es ratsam, die Arterie der Gegenseite zu punktieren und die KM Füllung durch einen bis zur Bifurkation vorgeschobenen Katheter vorzunehmen.

3.1.7 Injektionstechnik

Das KM kann in Richtung des Blutstroms oder auch retrograd gegen denselben injiziert werden. Bei der erstgenannten Darstellung sollte die Punktion nicht zu sehr distal vorgenommen werden, um eine isolierte Darstellung nur der a.f.s. zu vermeiden. Sicherer ist in jedem Falle die retrograde Injektionstechnik. Dabei wird immer KM in die a. femoralis communis gelangen und so eine Darstellung der a.f.s. wie der a.f.p. erreicht. Nachteil dieser Methode ist, daß etwas KM in die Beckenarterien abfließt und es so zu einer schwächeren Anreicherung im beabsichtigten Gefäßgebiet kommt.(13,23)

Das KM kann mit der Hand oder durch eine Hochdruckinjektionsspritze injiziert werden.

3.1.8 Aufnahmeapparat/ Röntgentechnik

Technisch muß die Möglichkeit einer Bildsequenzherstellung gegeben sein. Serienaufnahmen sind vorallem deshalb nötig, weil bei der Arteriographie ein KM-Durchfluß über eine längere Gefäßstrecke verfolgt werden muß. Eine ideale und auch für die vorliegenden Untersuchungen verwendete Arteriographieapparatur ist eine Einrichtung, bei der die Tischplatte, auf der der Patient während der Untersuchung liegt, über einen Filmwechsler AOT-Elema Schönander in wählbaren Abständen automatisch

verschoben wird. (vgl. Abb. 17 Position A - D)

Beim Längsverschieben muß ein optimaler Dickenausgleich vom Becken bis zum Unterschenkel erreicht werden. Dies ist möglich, wenn bei jeder Verschiebestufe die Röhrenspannung um einen einstellbaren Betrag herabgeregelt wird (23).

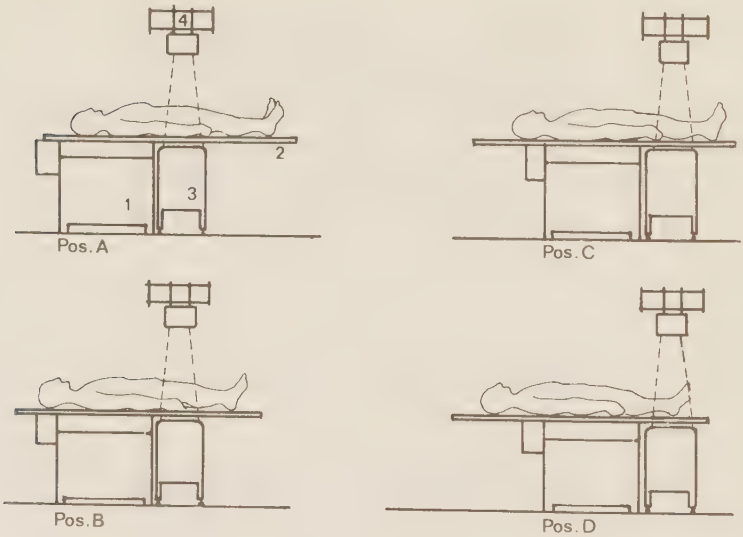


Abb. 17 Prinzip der motorischen Tischplattenlängsverschiebung

1 = Untersuchungstisch
2 = verschiebliche Tischplatte
3 = Filmwechsler
4 = Röntgenröhre

Bei mittelgroßen, gefäßgesunden Personen erlangt man eine gute KM-Füllung, wenn die erste Aufnahme für die Beckenarterien 2 - 3 Sekunden nach Beginn der Injektion gemacht wird, diejenige für die Oberschenkelarterien 4 - 5 sec nach Injektionsbeginn, für die

Unterschenkelarterien 7 - 9 sec danach; die letzte Zielaufnahme der Fußarterien soll 9 - 11 sec nach Beginn der Injektion erfolgen. Stenosen und Verschlüsse können den KM-Durchfluß entscheidend verzögern.

3.1.9 Nach der Entfernung der Punktionsnadel aus dem Blutgefäß ist zur Vermeidung eines Hämatoms eine dosierte ca. 15 minütige Kompression notwendig. Sie kann von Hand vorgenommen werden. Steht die Blutung, soll der Patient ein bis zwei Stunden liegen.

3.1.10 Komplikationen kommen relativ selten vor. Jedoch sind auch bei eingespielten Teams Extravasate, Hämatom-, Thrombenbildung nicht immer zu vermeiden. Schwere Folgen sind bei Paravasaten mit den trijodierten KM nicht mehr zu erwarten; Hyaluronidase beschleunigt die Resorption des Extravasats. Größere Hämatome aus dem Stichkanal sind durch sorgfältige manuelle Kompression während 15 Minuten auf die Punktionsstelle vermeidbar. Will die Blutung auch dann nicht stehen, verstärke man die Kompression.

3.2 Technik der Videokymographie

Vor der Darstellung des in dieser Arbeit verwendeten Verfahrens der Fernsehkymographie erfolgt ein kurzer Überblick über die Entwicklung der Kymographie.

Zur Beurteilung der Strömung in den Gefäßen wurde die Kymographie schon seit geraumer Zeit eingesetzt. ZEHNDER (25) hat das Carotisangiogramm am Menschen als Kymogramm aufgenommen. Er erwähnte auch die Möglichkeit einer Strömungsmessung, hat sie aber nicht durchgeführt.

Von einiger Bedeutung für die Kymographie der peripheren Gefäße sind die Arbeiten von DE SOUSA. Er hat als erster für die Methode der Röntgenkymographie an peripheren Gefäßen die Bezeichnung Angiokymographie eingeführt. Bei seinen fast ausschließlich an Kaninchen durchgeführten Versuchen hat DE SOUSA (19) meist mit der Stufenkymographie (Filmverschiebungskymographie) gearbeitet. Von seinen Ergebnissen ist für die Klinik noch heute die Bestimmung der Lungenzirkulationszeit bedeutsam.

Als weitere Pioniere der Kymographie müssen GÜNTERT und ZIMMER (10) angesehen werden. Sie haben an einem 20 x 90 cm großen Flächenkymographen als erste - wenn auch nur am Strömungsmodell - die Geschwindigkeit in durchströmten Glasröhren mathematisch genau bestimmt und weitere grundlegende strömungskymographische Untersuchungen durchgeführt.

Doch die quantitative Erfassung der Durchflußverhältnisse in den Gefäßen mit Hilfe der Kymographie hat - trotz aller Bemühungen - auch heute noch keinen Eingang in die angiologische Routinediagnostik gefunden. Denn eine Meßmethode findet erst dann allgemeine Anwendung, wenn sie sich ohne zeitlichen Mehraufwand, d.h. rationell bei vielen Patienten durchführen läßt.

Das war bis zum jetzigen Zeitpunkt noch nicht möglich. Die bisher übliche Flächenkymographie wurde normalerweise mittels einem in einer Spezialkassette ablaufenden Bleischlitzraster hergestellt. Dieser Vorgang war zwar nicht besonders schwierig, aber mit einer umständlichen Handhabung verbunden, die gerade in der Angiographie, wo der Arzt sich intensiv auf den Patienten einstellen muß, nicht akzeptiert werden kann.

Der größte Nachteil in der Röntgenkymographie war bislang jedoch die hohe Dosis, die vom strahlenhygienischen Standpunkt fast nicht mehr zu vertreten war. Die Kymographieaufnahme entspricht etwa einer Dosis von 8 - 10 einzelnen Thoraxaufnahmen.

1972 gelang J. HAENDLE und H.HAENDLE die Umsetzung der bisherigen Flächenkymographie in die Fernsehtechnik. Damit wurden die Voraussetzungen für eine einfache Anwendung in der Routinediagnostik mit sofort dokumentierbaren Ergebnissen geschaffen.

Mit diesem neuen Verfahren konnte auch die Strahlenbelastung des Patienten entscheidend gesenkt werden, da jetzt das Kymogramm einfach durch Abphotographieren des Monitorbildes zu gewinnen ist. In der vorliegenden Arbeit werden mit Hilfe dieser technischen Neuentwicklung Durchflußgeschwindigkeiten in der a. femoralis gemessen.

Die technische Grundüberlegung, das bisherige Kymographieverfahren in die Fernsehtechnik zu übertragen, war die Tatsache, daß sich das Fernsehbild aus 625 Zeilen zusammensetzt und das Direktkymographiebild ebenfalls aus einzelnen belichteten Streifen aufgrund des Rasterablaufes der Bleischlitze besteht.

Die Fernsehzeilen sollen die Rasterschlitze ersetzen, wobei der Ablauf der Zeilen vom Sichtgerät durch eine photographische Aufnahme mit entsprechend langer Exposition das kymographische Gesamtbild wiedergeben sollte.

Eine andere Möglichkeit ist auch die Summierung der Zeilen auf einem elektronischen Speicher, z.B. auf

Band- oder Plattenspeicher. Der Zeilenablauf auf dem Fernsehmonitor entsprechend dem Schlitzablauf bei Kymographieraster sollte eine elektronische Vorrichtung steuern. Die theoretischen Grundüberlegungen ließen sich technisch relativ einfach realisieren.

Bei der Fernsehkymographie muß das Leuchtdichtebild am Sichtgerät durch ein elektronisches Austastraster in der gleichen Weise unterbrochen werden, wie es bei der Direktaufnahme mittels Schlitzraster für das Strahlenbild geschieht. Ein solches elektronisches Kymoraster konnte mit Hilfe integrierter Schaltkreise einfach gestaltet werden. Man mußte der Bildwiedergaberöhre des Sichtgerätes eine Austasteinrichtung zuordnen, die das BAS-Signal derartig beeinflußt, daß eine Anzahl hellgetasteter Streifen auf der Wiedergaberöhre entsteht, von denen das gesamte Bildfeld während der Aufnahmedauer überstrichen wird. Das wichtigste Prinzip des Aufbaues eines Videokymographiegerätes ist folgendes:
Vom vollständigen Videosignal, das von der Röntgenfernsehanlage - zum Beispiel des Durchleuchtungsarbeitsplatzes - kommt, wird mittels einer Torschaltung nur der Signalanteil derjenigen Zeilen auf die Kathoden der Bildröhre durchgelassen, die den Schlitzen der Kymographiekassette bei der Direktkymographie entsprechen. Eine spezielle Impulselektronik hat für die Erzeugung der zeitrichtigen Schaltimpulse, für die Torschaltung, zu sorgen. Das Zeilenhelltastraster kann entweder direkt betrachtet werden, muß aber zur Bildbeurteilung mit einer Kamera aufgenommen werden. Der Verschluß der Kamera wird während der Ablaufzeit automatisch geöffnet.

Die dem Ablauf des Bleischlitzrasters des bisherigen mechanischen Kymographen entsprechende elektronische Helltastung der Fernsehzeilen mußte aus rationellen Gründen der bisher üblichen Fernsehabtastnorm angepaßt werden. Ein Abweichen von den vom technischen Fernsehen existierenden Normen, kommen z.B. 625 Zeilen oder 825 Zeilen bei einer Bildfrequenz von 50 Hz, hätte einen zu großen technischen Aufwand für die Realisierung der Fernsehkymographie ergeben.

Da nur Röntgenbildverstärker mit einer Eingangsebene von maximal 25 cm zur Verfügung standen, mußte diese Fläche zu dem bisherigen Kymographiebild in Beziehung gesetzt werden. Die Bildhöhe von 25 cm wurde in etwa 18 Streifen eingeteilt. Auf einen solchen Streifen entfallen dann auf dem Monitor, bei 625 Zeilen, etwa 32 Zeilen.

Dieser Streifen ist zunächst dunkel geschaltet; erst bei dem durch die spezielle Elektronik initiierten Rasterablauf werden alle 32 Zeilen nacheinander hell getastet, und zwar so, daß der Ablauf der Zeilen in jedem Streifen synchron von oben nach unten erfolgt. Bei einem unbewegten Objekt entsteht dabei eine Aufnahme, die gleich dem normalen Fernsehdurchleuchtungsbild ist. Jede Zeile in den jeweils 18 Streifen gehört zu einem anderen Fernsehbild. So setzt jeder Streifen von 32 Zeilen Breite sich insgesamt aus 32 hellgetasteten Halbbildern zusammen, die in der zeitrichtigen Ablaufzeit zeitrichtig durch die Impulselektronik ausgewählt werden. Die Ablaufzeiten ergaben sich durch die Fernsehnormen. Um sie für die Fernsehkymographie einführen zu können, ist eine kurze Erläuterung der Abtastnorm des Röntgenfernsehens notwendig. Das Fernsehbild wird zeilenweise von oben nach unten abgetastet. Am Bildende

springt der abtastende Elektronenstrahl, der bei der Fernsehaufnahmeröhre und der Bildwiedergaberöhre synchron läuft, an den Bildanfang zurück,wobei dunkel getastet wird. Im nächsten Ablauf tastet der Abtaststrahl die dazwischen liegenden Zeilen ab.Ein Fernsehbild besteht deshalb aus zwei zeitlich nacheinander abgetasteten Rastern mit jeweils der halben Zeilenzahl des Fernsehbildes.

Diese beiden Teilbildraster - oder auch Halbbildraster genannt - erscheinen örtlich kammartig ineinander geschachtelt auf dem Bildschirm des Sichtgerätes, weil infolge der Augenträgheit die zeitlich nacheinander folgenden Halbbilder zu einem Vollbild mit der doppelten Zeilenzahl zusammengefaßt werden. Diese Abtastart, die auch Zwischenzeilensystem genannt wird, wird bei Röntgenfernsehen und dem kommerziellen Fernsehen angewandt, um für den Übertragungsweg von Fernsehaufnahmeröhre zur Bildwiedergabe eine um den Faktor 2 geringere elektrische Bandbreite zu erreichen. Der Wechsel der Halbbilder erfolgt bei der in der Bundesrepublik üblichen Fernsehnorm 50 mal in der Sekunde, wobei jeweils 25 ganze Fernsehbilder (Vollbilder) je Sekunde übertragen werden. Die Zeilenzahl beträgt dabei für ein Vollbild 625 Zeilen, für das Halbbild 312,5 Zeilen.

Bei den etwa 18 Streifen des Fernsehkymographierasters und den zugehörigen 32 Zeilen in einem Streifen benötigt man wie erwähnt insgesamt 32 Halbbilder für den Ablauf eines Streifens. Als kürzeste Ablaufzeit resultiert bei einer Halbbilddauer von 20 msec eine Ablaufzeit von 0,64 sec. Eine längere Rasterablaufzeit kann bei der Fernsehkymographie nur dadurch erreicht werden, daß

abwechselnd Halbbilder, die zeitlich dazwischen liegen, völlig dunkel getastet werden. Für die nächst längere Ablaufzeit ergibt sich deshalb eine Zeit von 1,8 sec. Diese Zeit wurde auch für die hier dargestellte Femoraliskymographie verwendet.

Der Videokymograph wurde an einen Röntgenbildverstärker mit 25 cm Eingangsschirm angeschlossen. Dabei wird lediglich das Videosignal am BAS-Ausgang des Untersuchungsmonitors abgenommen und mit dem Eingang des Videokymographen verbunden. Das Gerät kann auch außerhalb des Untersuchungsraumes aufgestellt werden. Am Kommandoarm des Zielgerätes ist ein Druckschalter angebracht, der über Kabel mit dem Videokymographen verbunden ist. Damit kann gleichzeitig der Verschluß der Kamera und der Ablauf des Zeilenrasters ausgelöst werden.

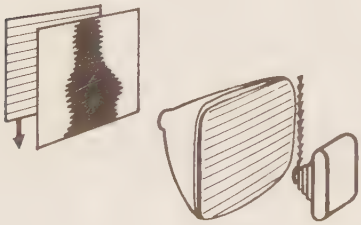


Abb. 18 Fernsehkymographie

Während einer normalen Durchleuchtung kann ohne Störung des Untersuchungsablaufes das Kymogramm angefertigt werden, wobei der Untersuchungsmonitor auch während des Kymographievorganges das normale Durchleuchtungsbild zeigt.

Der photographische Teil des Videokymographen wurde so vervollständigt, daß entweder 100 mm Blattfilm, abgestimmt auf eine automatische Entwicklung, Polaroid-Einzelbild (wurde bei dieser Arbeit verwendet) oder eine Kleinbildaufnahme mit automatischem Filmtransport verwendet werden könnte.

3.3 Anfertigung des Kymogrammes

Im Anschluß an die Arteriographie wurde in einem zeitlichen Abstand von etwa 10 Minuten das Kymogramm nach oben geschilderter Methode durch Injektion von etwa 2 - 3 ml KM angefertigt.

Als Meßstrecke diente das proximale Drittel der a.f.s. etwa vom Abgang der a.f.p. an. In das Durchleuchtungsfeld wurde ein röntgendichter Maßstab eingebracht.

Eine reaktive Hyperämie nach Kontrastmittelinjektion ist nach den Untersuchungen von HESS (13) nur während ca. 2 Minuten nachweisbar (vgl. Abb.19). Danach ist hinsichtlich der Durchblutung wieder die Ausgangslage hergestellt und es können Messungen unter Ruhebedingungen vorgenommen werden.

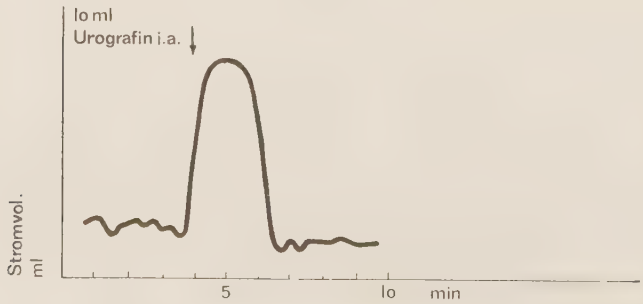


Abb.19 Effekt einer raschen Urografininjektion i.a. nach Hess (13)

Da in der Diastole (vgl. 2.2.7) - wenn überhaupt - nur eine minimale Strömungsgeschwindigkeit in der a.f.s. herrscht, interessieren vor allem die Durchflußgeschwindigkeiten in der Systole. Aus diesem Grund wurden die KM-Einspritzungen mit einem entsprechend EKG-gesteuerten KM-Injektor vorgenommen, der auch gleichzeitig das Videokymographiegerät auslöst. Es erwies sich als günstig, das KM zum Zeitpunkt der T-Zacke zu injizieren, da zu dieser Phase der systolische Fluß in der a.f.s. stattfindet. Damit stehe ich in Übereinstimmung mit TISO, der in seinen rheographischen Untersuchungen zu dem gleichen Ergebnis kommt. (20)

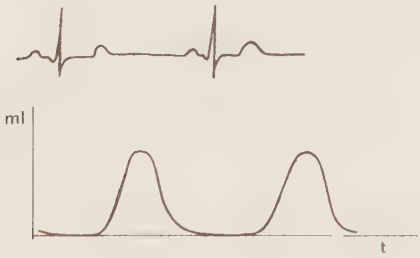


Abb. 20 Durchflußvolumina in der a.f.s. in zeitlicher Abhängigkeit zur Herzaktion nach TISO

3.4 Technik der Auswertung

Aus dem Videokymogramm kann unmittelbar die Durchflußgeschwindigkeit bestimmt werden. Läßt man nach dem oben geschilderten Prinzip das hellgetastete Zeilenraster während einer kurzen Injektion ablaufen, dann zeigt sich bei einem in vertikaler Bildrichtung verlaufenden Gefäß, das von oben nach unten

durchströmt wird, ein wie in Abb. 21 gezeigter unterteilter Verlauf des Kontrastmittels.

Abb. 21 Bestimmung der Durchflußgeschwindigkeit aus dem Videogramm

In der Abb. 21 sind die hellgetasteten Zeilen nach Beginn des Rasterablaufes markiert. Zwei dieser Zeilen sind als Startlinie A und B bezeichnet. Die Kontrastmittelfront wird im Streifenabschnitt, der mit der Startlinie A beginnt, erst nach hellgetasteten Zeilen erfaßt (Kontrastmittelfront 1). In einem weiter nach unten liegenden Streifenabschnitt, der mit der Startlinie B beginnt, stellt sich die Kontrastmittelfront 2 erst nach hellgetasteten Zeilen dar, weil das Kontrastmittel erst die Strecke zurücklegen mußte.

Die Zeit für diese Wegstrecke kann aus der Zeilendifferenz und der Folgefrequenz f_B der hellgetasteten Halbbildraster als f_B (m – n) sofort ermittelt werden. Die Durchflußgeschwindigkeit ergibt sich dann einfach aus der Wegstrecke d und der

Durchlaufzeit. Der Maßstabsfaktor F errechnet sich aus dem Vergleich mit dem beigelegten röntgendichten Maßstab. Aus den sofort entwickelten Polaroidbildern läßt sich eine Durchflußgeschwindigkeit also unmittelbar ablesen, wenn ein röntgendichter Maßstab mit aufgenommen wurde.

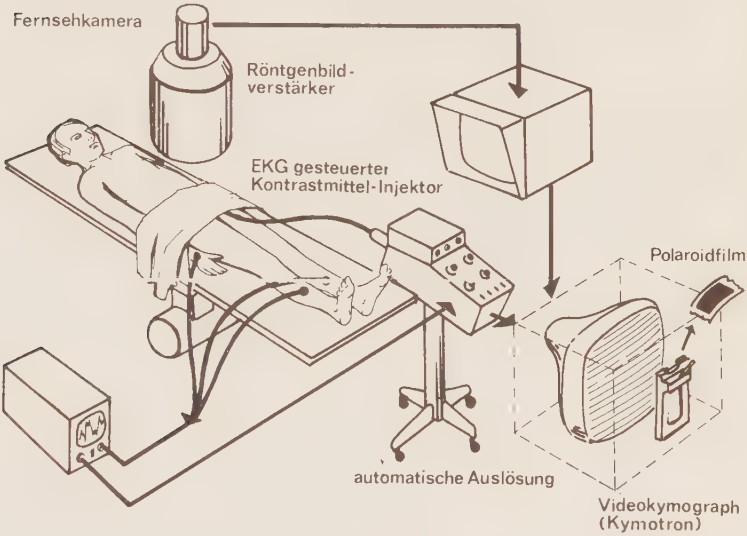


Abb. 22 Messung der Durchflußgeschwindigkeit mit Videokymographie

Meßschwierigkeiten ergeben sich bei hohen Durchflußgeschwindigkeiten und kurzen Gefäßstrecken. Zum Beispiel findet sich bei der a. renalis eine schlechte zeitliche Auflösung infolge der Fernsehbildfrequenz von 50 Bildern/sec. Eine Erhöhung der Bildfrequenz auf 100/sec kann die zeitliche Auflösung aber auch für diesen Gefäßbereich verbessern.

Auf dem Kymogramm ist die Ausbreitung des KM meist auf einer Strecke von etwa 10 cm zu beobachten. Die Zeit, die dabei vergeht, beträgt

0,2 - 0,3 sec., also die Dauer einer Systole. Man kann also unter Hinzuziehung der Angaben von 3.3 davon ausgehen, daß bei der Messung eine systolische Mittelgeschwindigkeit erfaßt wird, die die Summe aller Momentangeschwindigkeiten im Verlauf einer Systole (vgl. 2.2.7) beinhaltet.

3.5 Grenzen der kymographischen Geschwindigkeitsmeßmethode

GÜNTERT/ZIMMER (11) geben in ihren Untersuchungen folgende Einschränkungen für die exakte Messung der Strömungsgeschwindigkeit an:

1. Bis zu einer Höchstgeschwindigkeit von 100 cm/sec kann die Geschwindigkeit genau ausgemessen werden.
2. Bis zu einem Gefäßdurchmesser von 1,1 mm kommen auch bei hohen Strömungsgeschwindigkeiten genügende Schatten durch das KM zustande.

Da sich die hier gemessenen Ergebnisse in diesem Rahmen bewegten, können sich aus der Methode an sich keine Fehler ergeben.

4.0 Ergebnisse

4.1 Untersuchtes Patientengut

Es setzte sich nahezu ausschließlich aus Patienten zusammen, die mit Verdacht auf eine Verschlußkrankheit der Beine einer Femoralisangiographie unterzogen wurden.

Ein kleiner Teil rekrutiert sich auch aus Patienten, denen im Anschluß an eine Renovasographie durch den Katheter von der Bifurkation der Aorta abdominalis eine kleine Probeinjektion in die a.f.s. gesetzt wurde. Diese Patienten hatten keine Kreislauferkrankungen oder Gefäßschädigungen, so daß die von ihnen erhaltenen Werte als Normalwerte angesehen werden können.

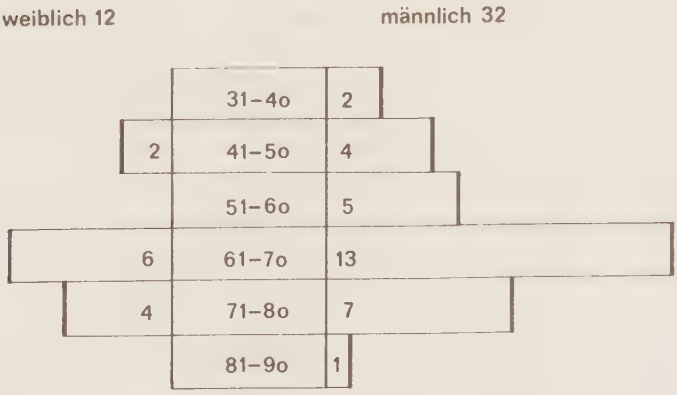


Abb. 23 Alters- und Geschlechtsverteilung der Patienten

Die kymographischen Aufnahmen erfolgten im Anschluß an die routinemäßig durchgeführten Serienangiographien. Im Zeitraum von März 73 bis Februar 74 konnten von 44 Patienten 78 auswertbare Kymogramme von Femoralisangiographien in der Zentralen Röntgenabteilung der Poliklinik bzw. der Klinik für Radiologie angefertigt werden.

Von den 40 mit Verdacht auf Vasopathien im Bereich der Beingefäße untersuchten Patienten konnte nach der erhobenen Anamnese der größte Teil (33 Patienten) dem Stadium II der Einteilung nach FONTAINE zugerechnet werden, ein Patient klagte über Ruheschmerz

Stadium I		keine Symtome
	II	Claudicatio intermittens Einschränkung von Durchblutungsanpassung und Funktionsumsatz
	III	Ruheschmerzen Unterschreitung von Ruhedurchblutung und Grundumsatz
	IV	Nekrosen Unterschreiten von Ruhedurchblutung und Strukturumsatz

Schema: Einteilung der Schweregrade durch Durchblutungsstörungen an den Extremitäten nach FONTAINE.

und sechs Patienten wiesen an der unteren Extremität ulceröse bzw. gangränöse Veränderungen auf. (Stadium IV)

4.1.1 Anamnese, röntgenologische Befunde und ermittelte Strömungsgeschwindigkeiten der untersuchten Patienten

Pat. 1 B.E. 14.07.24

Befund: Gehstrecke ca. 200 m;
kein Ruheschmerz

Angiographie: beidseits multiple
periphere Stenosierungen aller
Unterschenkelarterien bei freier
Durchgängigkeit der a.f.s.

gemessene Geschwindigkeit:
rechts (re): 43,7 cm/sec
links (li): 43,7 cm/sec

Pat. 2 B.P. 26.12.02

Befund: Herzinfarkt 1960; Gehstrecke
500 - 1000 m; 40 Zigaretten täglich;
Prägangrän links.

Angiographie:
re: leichter endangiopathischer
Befall des Oberschenkels; Unter-
schenkelarterien teilweise ver-
schlossen.
li: Verschluß der a.f.s. im unteren
Drittel; alle Unterschenkelarterien
stark endangiitisch verändert.

gemessene Geschwindigkeit:
re: 42,7 cm/sec
li: 40,0 cm/sec

Pat. 3 B.K. 31.10.27

Befund: Leberzirrhose, Ösophagusvarizenblutung, B II, seit 6 Jahren Porphyrie, 1971 Amputation der linken Großzehe wegen gangränöser Veränderungen. Im Oktober 1973 erneutes Anschwellen des Stumpfes, jetzt ulceriert; keine Beeinträchtigung der Gehstrecke; nachts Wadenkrämpfe, raucht 10 - 20 Zigaretten täglich.

Angiographie:
li: a. tibialis posterior im unteren Drittel verschlossen, Fußgefäße stenosiert.
re: normale Verhältnisse.

gemessene Geschwindigkeit:
re: 54,6 cm/sec
li: 50,7 cm/sec

Pat. 4 B.R. 21.04.30

Befund: Hypertonie, Zustand nach Vorderwandinfarkt, seit 2 Jahren RAYNAUD - artige Erscheinungen an Händen und Füßen. Blasse, kühle Extremitäten.

Angiographie:

re: Verschluß im distalen Drittel der a.f.s. mit peripherer Beteiligung.
li: starke Veränderungen der a.f.s. und der Peripherie.

gemessene Geschwindigkeit:

re: 44,8 cm/sec
li: 39,8 cm/sec
vgl. Abb. 27 und 30

Pat. 5 B.M. 18.02.25

Befund: Aplasie der rechten Niere

Angiographie: bei diesem Patienten wurde nur eine Renovasographie durchgeführt.

gemessene Geschwindigkeit:

re: 42,6 cm/sec
li: 41,1 cm/sec
vgl. Abb. 33

Pat. 6 B.G. 31.08.01

Befund: starke Raucherin, häufig Venenentzündung; Gehstrecke etwa 200 m.

Angiographie:

re: multiple Wandunregelmäßigkeiten, im mittleren Drittel der a.f.s. ein Fastverschluß; a. fibularis verschlossen.

li: a.f.s. im mittleren Abschnitt über eine längere Strecke hinweg mit leichten Wandunregelmäßigkeiten, a. fibularis verschlossen, die beiden anderen Unterschenkelarterien deutlich stenosiert.

gemessene Geschwindigkeit:
re: 31,2 cm/sec
li: 43,6 cm/sec

Pat. 7 C.G. 15.05.12

Befund: seit 1 Monat Beschwerden, links stärker; Gehstrecke 50 - 100 m, 20 Zigaretten pro Tag.

Angiographie:
re: schwere Veränderungen der a.f.s. bei Stenosierung aller Unterschenkelarterien.
li: Verschluß der a.f.s. im proximalen Drittel; alle Unterschenkelarterien ebenfalls verschlossen.

gemessene Geschwindigkeit:
re: 34,9 cm/sec
li: 11,2 cm/sec
vgl. Abb. 29

Pat. 8 E.A. 06.04.05

Befund: Gehstrecke 100 m; 10 Zigaretten pro Tag; Hypertonie; chronische Pyelonephritis.

Angiographie:

re: Verschluß der a.f.s. nahezu direkt am Abgang; geringe Füllung durch Kollateralen. Alle Unterschenkelarterien verschlossen.

li: Multiple schwerste Stenosen im gesamten Verlauf der a.f.s.; weiterhin Verschluß sämtlicher Unterschenkelarterien.

gemessene Geschwindigkeit:

re: 8,1 cm/sec

li: 28,8 cm/sec

Pat. 9 E.L. 06.04.05

Befund: Gehstrecke ca. 400 m

Angiographie: starke endangiitische Veränderungen im Gesamtverlauf der linken a.f.s.; die Trifurkation weist leichte Konturunregelmäßigkeiten auf; sonst o.B.

gemessene Geschwindigkeit:

li: 44,1 cm/sec

Pat. 10 F.M. 04.02.10

Befund: Schmerzen in den Unterschenkeln; Diabetes; Cholesterin erhöht.

Angiographie: proximaler Verschluß der linken a.f.s.; Peripherie frei.

gemessene Geschwindigkeit:
li: 10,8 cm/sec

Pat. 11 F.A. 29.03.12

Befund: Beschwerden in beiden Waden; Diabetes; Triglyceride und Cholesterin leicht erhöht.

Angiographie:
re: bis zum unteren Unterschenkeldrittel o.B.; a. tibialis posterior spärlich gefüllt; a. tibialis anterior mit deutlichen Stenosen; a. fibularis enggestellt und geschlängelt; Plantararterien verschlossen.
li: a. tibialis posterior stenosiert; a. tibialis anterior unregelmäßig gefüllt; a. fibularis geschlängelt; keine Darstellung der Plantargefäße.

gemessene Geschwindigkeit:
re: 42,4 cm/sec
li: 43,2 cm/sec

Pat. 12 G.A. 08.02.11

Befund: seit 2 Monaten Beschwerden; Gehstrecke 100 m; vorbehandelt mit FLUDILAT.

Angiographie:

re: Verschluß der a.f.s. im mittleren Bereich, freier Abfluß nach distal über Kollateralen.

li: sehr dünnkalibrige a.f.s. bei weitgehend freier Peripherie.

gemessene Geschwindigkeit:

re: 29,2 cm/sec

li: 33,4 cm/sec

Pat. 13 H.M. 23.12.08

Befund: kleine Zysten in der Niere; Hypertonie mit Blutdruckwerten von 260/120; maligne Reticulose mit Knochenmetastasen im rechten Bein.

Angiographie: kein angiologischer Befund der Beinarterien vorhanden, da bei diesem Patienten nur eine Renovasographie vorgenommen wurde.

gemessene Geschwindigkeit:

re: 55,9 cm/sec

Pat. 14 H.J. 12.07.11

Befund: Gehstrecke 200 m; Triglyceride und Cholesterin normal.

Angiographie: vollständiger Verschluß im mittleren Abschnitt der rechten a.f.s., nahezu regelmäßige Darstellung der Unterschenkelgefäße.

gemessene Geschwindigkeit:
re: 29,4 cm/sec

Pat. 15 K.Ch. 25.08.12

Befund: linke Wade besonders betroffen; Gehstrecke 300 m.

Angiographie: Abbruch der a.f.s. im mittleren Drittel über ca. 20 cm; keine Darstellung der Unterschenkelgefäße.

gemessene Geschwindigkeit:

li: 22,0 cm/sec

Pat. 16 K.K. 29.01.00

Befund: Zucker seit 1966, Gehstrecke 20 m; an a.f.s. bds. Geräusch vernehmbar.

Angiographie:
re: Verschluß der a.f.s. im distalen Drittel bei schweren peripheren Veränderungen.
li: mittelgradige Stenosen im Verlauf der gesamten Beingefäße.

gemessene Geschwindigkeit:
re: 41,4 cm/sec
li: 49,8 cm/sec

Pat. 17 K.K. 23.01.10

Befund: Gehstrecke 200 m; Zuckerwerte 200 mg%, Cholesterin 185, Triglyceride 65; starker Raucher seit 40 Jahren.

Angiographie:
re: Verschluß im mittleren Bereich der a.f.s. bei multiplen Kontrastmittelinhomogenitäten und Lumenschwankungen proximal; engkalibrige Gefäße im Unterschenkelbereich.
li: multiple stärkste Stenosen der a.f.s.; a. poplitea verschlossen; engkalibrige Unterschenkelgefäße.

gemessene Geschwindigkeit:
re: 32,0 cm/sec
li: 29,4 cm/sec

Pat. 18 L.A. 02.05.04

Befund: Gehstrecke 200 m, kein Diabetes bekannt, täglich 25 Zigaretten, RR 220/110, Cholesterin 270, Triglyceride 250.

Angiographie:
re: wenige Zentimeter nach Abgang der a.f.s. kommt es zum ersten Kontrastmittelstop. Im ganzen Verlauf

noch mehrere Verschlüsse bei wiederholter flauer Auffüllung über Kollateralen. Peripherie o.B.
li: stärkere Veränderungen der a.f.s. und der Unterschenkelgefäße.

gemessene Geschwindigkeit:
re: 11,7 cm/sec
li: 40,9 cm/sec

Pat. 19 M.J. 14.08.06

Befund: Gehstrecke 150 m; seit 45 Jahren 20 Zigaretten/die.

Angiographie:
re: schwere multiple Stenosen der gesamten a.f.s.; a.tibialis posterior verschlossen, die anderen Unterschenkelarterien nur bis zur Unterschenkelmitte dargestellt;
li: Verschluß der a.f.s. im proximalen Drittel; vor Verschluß multiple Stenosen. Am Unterschenkel nur aa. tibialis posterior et fibularis verfolgbar.

gemessene Geschwindigkeit:
re: 45,5 cm/sec
li: 15,8 cm/sec

Pat. 20 M.V. 15.01.07

Befund: Gehstrecke 100 bis 200 m; Wadenkrämpfe im Sitzen und beim Liegen;

Angiographie:

re: normale Verhältnisse
li: Trifurkation o.B; a. tibialis anterior nach 4 cm verschlossen; a. tibialis posterior o.B.; a. fibularis rudimentär dargestellt.

gemessene Geschwindigkeit:

re: 59,6 cm/sec
li: 43,4 cm/sec
vgl. Abb. 31

Pat. 21 M.A. 21.04.09

Befund: Gehstrecke ca. 300 m; danach Brennen der Fußsohlen.

Angiographie:

re: multiple Stenosen der a.f.s; a. tibialis anterior et a. fibularis verschlossen; a. tibialis posterior deutlich stenosiert.
li: multiple Stenosen und aneurysmatische Erweiterungen im Verlauf der gesamten a.f.s.; Trifurkation verändert; aa. fibularis et tibialis anterior nicht dargestellt.

gemessene Geschwindigkeit:

re: 42,5 cm/sec
li: 54,5 cm/sec
vgl. Abb. 26

Pat. 22 v.O.M. 25.03.00

Befund: Gehstrecke 50 - 100 m; starke Raucherin; rapide Verschlechterung besonders der rechten Großzehe seit einem Vierteljahr; ebenfalls zerebrale Durchblutungsstörungen.

Angiographie:

re: multiple Stenosen vorwiegend im mittleren Drittel der a.f.s., sowie am Übergang oberes/mittleres Drittel; am Übergang zur a.poplitea Totalverschluß, keine Darstellung der Fußarterien.

li: multiple Stenosen im mittleren und unteren Drittel der a.f.s.; im Übergang vom mittleren zum unteren Abschnitt kommt es zu einem Fastverschluß, der nur durch dünne Rinnsale überbrückt wird; a. fibularis verschlossen.

gemessene Geschwindigkeit:

re: 34,4 cm/sec

li: 40,1 cm/sec

vgl. Abb. 28

Pat. 23 O.J. 30.01.01

Befund: seit einem Jahr Beschwerden besonders am rechten Bein, Gehstrecke 500 m; Diabetes; 20 Zigaretten/die seit 30 Jahren.

Angiographie:

re: totaler Verschluß über 10 cm im distalen Drittel der a.f.s.; außer der a. tibialis posterior erscheinen alle Arterien des Unterschenkels zwar verspätet, aber regelrecht.

li: leichte Konturunregelmäßigkeiten bei fast normaler Peripherie.

gemessene Geschwindigkeit:

re: 44,4 cm/sec
li: 51,5 cm/sec

Pat. 24 P.E. 29.04.32

Befund: Gehstrecke 100 - 200 m; Kältegefühl in den Extremitäten; RAYNAUD-Syndrom.

Angiographie:

re: leichte Konturunregelmäßigkeiten bei fast normaler Peripherie.

li: totaler Verschluß der a.f.s. im distalen Drittel; die Unterschenkelarterien sind weitgehend normal.

gemessene Geschwindigkeit:

re: 43,0 cm/sec
li: 41,7 cm/sec

Pat. 25 P.K. 21.08.40

Befund: Zustand bei Neoplasma der Niere, Hypertonie.

Angiographie: kein angiologischer Befund der Beinarterien, da nur Nierenangiogramm angefertig wurde.

gemessene Geschwindigkeit:
re: 40,2 cm/sec
li: 46,2 cm/sec

Pat. 26 P.G. 15.04.20

Befund: Gehstrecke 300 m; kein Diabetes; raucht 10 Zigaretten am Tag.

Angiographie:

re: bei sonst nur mäßigen Veränderung eine schwere Stenose im mittleren Drittel der a.f.s.; hochgradige Stenose der a. tibialis anterior.
li: Verschluß 8 cm nach Abgang der a.f.s.; a. poplitea flau gefüllt; keine Darstellung der Peripherie.

gemessene Geschwindigkeit:
re: 33,8 cm/sec
li: 6,2 cm/sec

Pat. 27 P.F. 07.08.04

Befund: Gehstrecke 100 m, an der rechten Ferse ausgeprägte Ulcerationen; Diabetes.

Angiographie: re: unmittelbar am Abgang an Bifurkation Verschluß der a.f.s.; das Kontrastmittel verdämmert im proximalen Oberschenkelbereich. Im Unterschenkel lediglich eine sehr lumenschwache a. tibialis anterior nachweisbar.

gemessene Geschwindigkeit:
re: 6,4 cm/sec

Pat. 28 P.B. 13.01.20

Befund: Gehstrecke 300 - 500 m

Angiographie:
re: Verschluß der a.f.s im mittleren Femurdrittel.
li: mittelgradige Stenosen der a.f.s; Peripherie bds. unbedeutend beeinträchtigt.

gemessene Geschwindigkeit:
re: 32,7 cm/sec
li: 48,6 cm/sec

Pat. 28 P.B. 13.01.20

Befund: Gehstrecke 300 - 500 m

Angiographie:
re: Verschluß der a.f.s. im mittleren Femurdrittel;
li: mittelgradige Stenosen der a.f.s.; Peripherie bds. unbedeutend beeinträchtigt.

gemessene Geschwindigkeit:
re: 32,7 cm/sec
li: 48,6 cm/sec

Pat. 29 P.J. 10.10.02

Befund: Schmerzen beim Gehen, Flecken an den Zehen, Hypertonie;

Angiographie: bds. mittelgradige Veränderungen stenosierender und dilatierender Art; geringer ausgeprägt an den Unterschenkeln.

gemessene Geschwindigkeit:
7.1.74: re: 54,9 cm/sec
li: 54,9 cm/sec

23.2.74 re: 53,0 cm/sec
li: 53,0 cm/sec

Pat. 30 R.M. 21.09.05

Befund: Beschwerden seit etwa 1 Jahr zuerst im Oberschenkel, dann auch die Wade befallend; seit 8 Tagen sind die Zehen blau (li); beim langsamen Gehen hat die Pat. keine besonderen Schmerzen; raucht seit 40 Jahren 20 Zigaretten pro Tag.

Angiographie: re: leichte bis mittlere Veränderungen der a.f.s.; Peripherie mitbeteiligt.

gemessene Geschwindigkeit:
re: 52,3 cm/sec
vgl. Abb. 25

Pat. 31 R.L. 11.05.92

Befund: Gehstrecke 50 - 100 m; Diabetes.

Angiographie: re: multiple schwere Stenosen bei Verschluß der a. poplitea über einen Zentimeter; a. tibialis posterior verschlossen; die beiden anderen Unterschenkelarterien deutlich stenosiert.

gemessene Geschwindigkeit:
re: 38,7 cm/sec

Pat. 32 S.J. 03.03.07

Befund: Ulcera am linken Unterschenkel;
Diabetes.

Angiographie:
re: nur leichte Konturunregelmäßigkeiten;
li: schwerste endangiopathische Veränderungen der a.f.s;
Peripherie re leicht, li schwer betroffen.

gemessene Geschwindigkeit:
re: 65,9 cm/sec
li: 24,5 cm/sec

Pat. 33 S.J. 18.08.19

Befund: Kribbeln in Vorfüßen nach Gehstrecke von ca. 100 m; Cholesterin 310, Triglyceride 185, Quick 10 %.

Angiographie:
re: eine minimale Stenose der a.f.s. im Übergang zur a. poplitea; leichte Veränderungen der Unterschenkelgefäße.
li: unwesentliche Veränderungen der Gefäße distal der a.f.s.;

gemessene Geschwindigkeit:
re: 46,7 cm/sec
li: 47,5 cm/sec

Pat. 34 S.J. 08.05.04

Befund: Gehstrecke 300 m

Angiographie: re:multiple leichte Lumeneinengungen der a.f.s.; aa. tibialis posterior et anterior verschlossen; a. fibularis deutlich stenosiert.

gemessene Geschwindigkeit:
re: 41,6 cm/sec

Pat. 35 S.G. 01.02.10

Befund: Gehstrecke 100 - 150 m; systolischer Blutdruck bei 215 mm Hg; starker Raucher.

Angiographie:
re: Verschluß im mittleren Oberschenkelbereich über 20 cm; lumenschwache Unterschenkelgefäße.
li: mehrere Stenosen im mittleren Bereich der a.f.s.; Peripherie weitgehend o.B.: nur a. tibialis posterior im Fußbereich verändert.

gemessene Geschwindigkeit:
re: 29,5 cm/sec
li: 42,2 cm/sec

Pat. 36 S.B. 30.04.02

Befund: Gehstrecke 20 - 50 m

Angiographie: Verschluß beider a.f.s. von proximal bis zur Mitte des Oberschenkels; Peripherie ebenfalls stark verändert.

gemessene Geschwindigkeit:
re: nicht zu bestimmen
li: 19,7 cm/sec

Pat. 37 T.F.

Befund: Kribbeln in Zehen.

Agiographie:
re: Oberschenkelarterien o.B.; Peripherie: Engstellung der aa. tibialis anterior et fibularis.
li: normale a.f.s. bei unwesentlichen peripheren Beeinträchtigungen.

gemessene Geschwindigkeit:
re: 44,1 cm/sec
li: 52,0 cm/sec
vgl. Abb. 32

Pat. 38 T.J. 08.09.14

Befund: leichte Claudicatio-Symptomatik.

Angiographie: re: leichte proximale und periphere Veränderungen.

gemessene Geschwindigkeit:
re: 45,9 cm/sec
siehe Abb. 24

Pat. 39 U.F.X. 29.11.99

Befund: Gehstrecke 1000 m; Beschwerden seit etwa einem halben Jahr; jetzt Ulcera am rechten Unterschenkel und an den Zehen; starker Raucher.

Angiographie: vollständige Verschlüsse der a.f.s. bds. im mittleren Verlaufsdrittel; Trifurkation sowie Unterschenkelarterien frei.

gemessene Geschwindigkeit:
re: 31,4 cm/sec
li: 31,4 cm/sec

Pat. 40 W.H. 17.05.06

Befund: Zustand bei Bronchialasthma und mittelgradiger Hypertonie;

Angiographie: nur Darstellung der Nierengefäße; deshalb keine angiographischen Befunde der Beinarterien.

gemessene Geschwindigkeit:
re: 41,9 cm/sec
li: 48,6 cm/sec

Pat. 41 W.W. 29.06.11

Befund: Gehstrecke 150 m; starker Raucher.

Angiographie:
re: multiple Stenosen der a.f.s.; Peripherie weitgehend o.B., lediglich a. tibialis anterior im Fußbereich nicht nachweisbar.
li: bei multiplen Stenosen besonders starke Einengung im mittleren Drittel der a.f.s. im Bereich weniger Zentimeter; a. tibialis anterior stenosiert; Abgangsstenose der a. suralis.

gemessene Geschwindigkeit:
re: 50,2 cm/sec
li: 35,8 cm/sec

Pat. 42 W.G. 19.02.43

Befund: seit Oktober 1973 Gehstrecke von etwa 50 m.

Angiographie: re: Verschluß der a. poplitea, sonst alles o.B.

gemessene Geschwindigkeit:
re: 39,2 cm/sec

Pat. 43 Z.H. 26.04.25

Befund: früher Verschluß an Aufteilungsstelle in a.f.s. und a.f.p., jetzt Kontrolle nach Lyse; Pat. ist markumarisiert.

Angiographie: li: unauffälliger Gefäßverlauf, völlige Rekanalisation.

gemessene Geschwindigkeit:
li: 40,1 cm/sec

Pat. 44 Z.H. 24.02.13

Befund: Gehstrecke nicht beeinträchtigt.

Angiographie: glatte Oberschenkelgefäße, jedoch Peripherie stärker betroffen.

gemessene Geschwindigkeit:
re: 50,4 cm/sec

4.2 Änderung der Geschwindigkeit in der a.f.s. in Abhängigkeit von Stenosen bzw. Verschlüssen

Um eine sinnvolle Einreihung der gemessenen Geschwindigkeiten vornehmen zu können, war es notwendig, die Patienten entsprechend ihrem angiologischen Befund in Gruppen aufzuteilen.

A Veränderungen der a.f.s. (Peripherie mitbeteiligt)

Grad I: Lumeneinengung $<$12,5 %
Grad II: Lumeneinengung $<$25 %
Grad III: Lumeneinengung $<$50 %
Grad IV: Lumeneinengung $<$75 %
Grad V: Lumeneinengung $>$75 %
Grad VI: totaler Verschluß der a.f.s.
1. im proximalen Drittel
2. im mittleren Drittel
3. im distalen Drittel

B Isolierte Veränderungen distal der a.f.s.

C Sogenannte Normalgruppe

I angiographisch gesichert
II Reno-Vasographie-Patienten

Schema der Aufteilung in Gruppen nach morphologischen Veränderungen der Gefäße im Angiogramm.

Als eines der Hauptkriterien bei der Einteilung ergaben sich verständlicherweise bei der Lokalisa-

tion der Meßstrecke im Bereich der Aufteilung in a.f.s. und a.f.p. die morphologischen Verängerungen der a.f.s.

Weiter fand sich bei der Auswertung des Materials eine eigene Gruppe, die nur endangiopathische Veränderungen distal der a. poplitea aufwies.

Die Patienten, deren Gefäße bei der Untersuchung als unverändert befundet wurden, kamen gemeinsam mit den Renovasographiepatienten in eine Abteilung, die im weiteren Text als Normalgruppe bezeichnet wird.

Eine vorher geplante Gruppe, die zwar Veränderungen der a.f.s., aber freie periphere Verhältnisse aufweisen sollte, konnte mangels geeigneter Patienten nicht zusammengestellt werden.

4.2.1 Übersicht über die gemessenen Geschwindigkeiten in Abhängigkeit vom morphologischen Befund

	Pat. Nr.	re	li
A I	6		43,6
	33	46,7	
	34	41,6	
	2	42,7	
	38	45,9	
	24	43,0	

Mittelwert (MW) = 43,92 cm/sec
Standardabweichung (S_x) = $\pm$ 1,97 cm/sec

A II	21		54,5
	30	52,3	
	29	54,9	54,9
		53,0	53,0
	23		51,5
	32	65,9	

MW = 55,0 cm/sec
S_x = $\pm$ 4,58 cm/sec

A III	21	42,5	
	16		49,8
	19	45,5	
	41	50,2	
	28		48,6
	9		44,1

MW = 46,78 cm/sec
$S_x = \pm$ 3,2 cm/sec.

A IV	35		42,2
	41		35,8
	31	38,7	
	18		40,9
	22		40,1
	4		39,8

MW = 39,58 cm/sec
$S_x = \pm$ 2,19 cm/sec

A V	6	31,2	
	26	33,8	
	7	34,9	
	17		29,4
	8	28,8	
	32		24,5
	22	34,4	
	12		33,4

MW = 31,29 cm/sec
$S_x = \pm$ 3,58 cm/sec

A VI/1	18	11,7	
	19		15,8
	7		11,2

	8	8,1	
	36	0	19,7
	10		10,8
	26		6,2
	27	6,4	

MW = 11,25 cm/sec

$S_x = \pm$ 4,65 cm/sec

A VI/2	35	29,5	
	15		22,0
	28	32,7	
	17	32,0	
	39	31,4	31,4
	12	29,2	
	14	29,4	

MW = 29,68 cm/sec

$S_x = \pm$ 3,16 cm/sec

A VI/3	16	41,4	
	23	44,4	
	2		45,9
	24		41,7
	4		44,8

MW = 43,64 cm/sec

$S_x = \pm$ 1,99 cm/sec

B	1	43,7	43,7
	20		43,4
	33		47,5
	3		50,7
	11	42,4	48,2
	42	39,2	
	44	50,4	
	37	44,1	

MW = 44,83 cm/sec

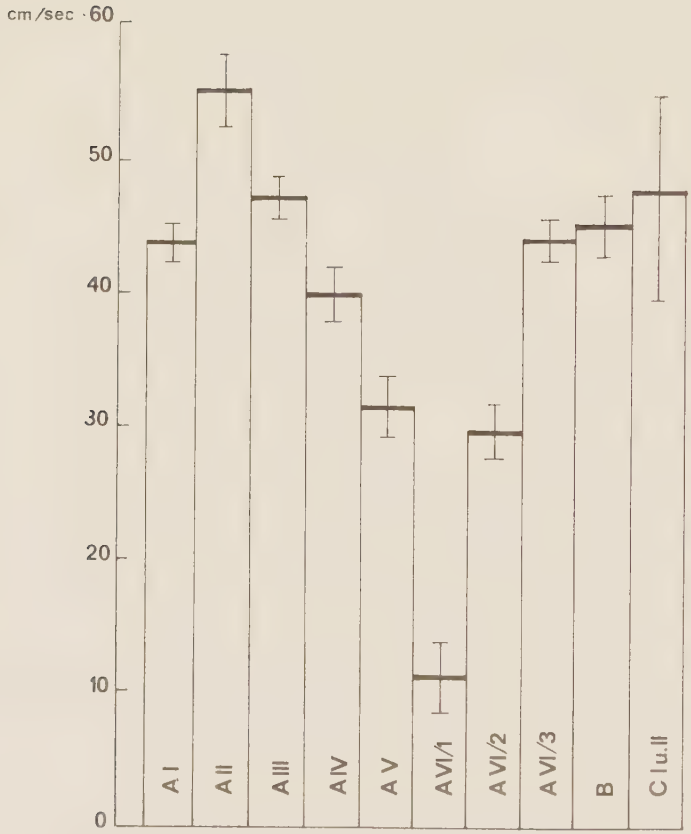
S_x = ± 3,62 cm/sec

C I	43		40,1
	20	59,6	
	3	54,6	
	37		52,0
C II	25	46,6	40,2
	5	41,1	42,6
	13	55,9	
	40	41,9	48,6

MW aus C I und C II = 47,5 cm/sec

S_x von C I und C II = ± 7,03 cm/sec

4.2.2 Graphische Darstellung der Mittelwerte (MW) und Standardabweichungen (S_x)* der verschiedenen Gruppen



---

* Die Berechnung der Standardabweichung erfolgte nach der Formel

$$S_x = \pm\sqrt{\frac{\sum X^2 - \frac{(\sum X)^2}{n}}{n-1}}$$

4.2.3 Zusammenfassung der Geschwindigkeitsänderungen bei Einengungen bzw. Verschlüssen des Arterienquerschnitts

4.2.3.1 Änderung der Geschwindigkeit bei Lumeneinengung < 12,5 %

Mit zunehmenden peripheren Veränderungen scheint in dieser Gruppe auch die Durchflußgeschwindigkeit im proximalen Bereich der a.f.s. abzunehmen, vgl. Pat. 33 (46,7 cm/sec) und Pat. 2 (42,7 cm/sec).

Im Vergleich dieser Gruppe mit der Normalgruppe scheint sich schon bei kleinsten Lumeneinengungen eine geringe Abnahme des Gruppendurchschnittes (43,9 cm/sec) gegenüber der Normalgruppe (47,5 cm/sec) zu ergeben. Für diese Reduzierung der Durchflußgeschwindigkeit sind jedoch weniger die Stenosen im Bereich der a.f.s. verantwortlich als vielmehr die Verhältnisse im Unterschenkel.

Denn während bei Patienten dieser Gruppe mit fast normaler Peripherie die Durchschnittsgeschwindigkeit in etwa der Normalgruppe entspricht, reduzieren starke Stenosen bzw. Verschlüsse distal der a. poplitea die Geschwindigkeit gegenüber dem Normalwert um etwa 10 % (Pat. 6, Pat. 2, Pat. 34).

4.2.3.2 Änderung der Geschwindigkeit bei Lumeneinengung $<$ 25 %

Innerhalb dieser Gruppe herrschen mit Ausnahme von Pat. 32 annähernd gleiche Strömungsgeschwindigkeiten, durchschnittlich die höchsten des gesamten Patientengutes.

Dies entspricht dem physikalischen Gesetz, wonach in Stenosen und stenosenahen Abschnitten sich die Strömungsgeschwindigkeit erhöht, sofern das Volumen konstant bleibt. Diese Forderung wird erfüllt, denn nach den Ergebnissen von 2.2.9 fällt das Stromvolumen bis zu einer Lumeneinengung dieser Größenordnung überhaupt nicht ab.

4.2.3.3 Änderung der Geschwindigkeit bei Lumeneinengung $<$ 50 %

Auch in dieser Gruppe findet sich eine deutliche Abhängigkeit der Durchflußgeschwindigkeit von der Anzahl der Stenosen und der peripheren Verhältnisse, vgl. dazu die Patienten 41 (50,2 cm/sec), 28 (48,6 cm/sec) und 21 (42,5 cm/sec). Die Durchschnittsgeschwindigkeit entspricht mit 46,78 cm/sec im Schnitt in etwa der Normalgruppe und stützt die These, daß Stenosen kleiner 50 % des Arteriendurchschnitts die Hämodynamik unter Ruhebedingungen nur unwesentlich beeinflussen (vgl. 2.2.9).

Die Patienten dieser Gruppe sind - auch was die Funktionsfähigkeit ihrer Beine betrifft - noch kaum behindert. Man findet bei ihnen, wie auch bei den Patienten der Gruppen A I und A II, noch keine nennenswerten Beeinträchtigungen der Gehleistung. Während bei langsamem Gehen überhaupt

keine Einschränkung auftritt, kommen - lt. Anamnese - unter Belastung gelegentlich Kribbeln, Brennen in der Fußsohle u.ä. vor.

Grundsätzlich kann man davon ausgehen, daß bei Patienten mit Einengung des Arterienquerschnitts der a.f.s. bis zu 50 % auch bei Anstrengung von einer echten Durchblutungsstörung noch nicht gesprochen werden darf.

4.2.3.4 Änderung der Geschwindigkeit bei Lumeneinengung <75 %

Pat. 35 (42,2 cm/sec) und Pat. 41 (35,8 cm/sec) zeigen die bekannte Abhängigkeit der Geschwindigkeit von Anzahl der Stenosen und Verhältnissen in der Peripherie. Ebenso wird bei der Pat. 31 (38,7 cm/sec), die die gleichen proximalen Veränderungen wie Pat. 35 aufweist, die Durchflußgeschwindigkeit noch deutlich wegen der starken peripheren Beeinträchtigungen vermindert.

Obwohl - unter Ruhebedingungen - die Geschwindigkeitsreduzierung gegenüber der Normalgruppe nur 17 % beträgt, kann es schon in dieser Gruppe zu einer extremen Verminderung der Gehleistung (bei Pat. 31 50 - 100 m) kommen.

In Übereinstimmung mit der Literatur zeigte sich auch, daß die Entstehung von Umgehungskreisläufen bei Lumeneinengungen zwischen 50 - 75 % des Querschnittes der a.f.s. beginnt.

In diesem frühen Stadium sind die Kollateralbahnen aber noch diskret: man findet im Röntgen-

bild kleine, korkzieherartige Windungen an prästenotischen Seitenästen der a.f.s.

4.2.3.5 Änderung der Geschwindigkeit bei Lumeneinengung >75 %

Es zeigt sich eine deutliche Abhängigkeit der Geschwindigkeit von den Kriterien Anzahl der Stenosen/periphere Veränderungen, z.B. Pat. 7 (34,9 cm/sec), Pat. 8 (28,6 cm/sec), Pat. 32 (24,5 cm/sec). Das Ausmaß der Stenosen behindert jetzt deutlich die Hämodynamik, wobei durchschnittlich die Geschwindigkeit um 35 % gegenüber normal reduziert ist.

Funktionell ist in dieser und der vorhergehenden Gruppe die Gehleistung entscheidend eingeschränkt: Pat. 41 150 m, Pat. 6 200m. Eigentlich besteht in dieser Gruppe und auch zum Teil bei A IV in der Gehleistung schon kein Unterschied mehr zu totalen Verschlüssen der a.f.s.; denn die Gehstrecke ist für diesen Fall in der Literatur mit 100 - 200 m angegeben.

Insgesamt korreliert dieses durch Befragen der Patienten gewonnene Ergebnis auch gut mit den Angaben von 2.2.9, wonach erst eine Stenosierung von etwa 2/3 des Arterienquerschnittes zu einer mangelhaften Durchblutung bei Belastung führt.

In diesem Stadium der Einengung des Arterienlumens größer 75 % nehmen die Kollateralen, sowohl was den Durchmesser wie die Ausdehnung betrifft,immer größere Ausmaße an und begleiten

die a.f.s. über weite Strecken ihres Verlaufes.

4.2.3.6 Geschwindigkeitsveränderungen bei Verschlüssen der a.f.s.

Die Unterteilung dieser Gruppe in entsprechende Untergruppen je nach Lokalisation des Verschlusses im proximalen, mittleren oder distalen Drittel der a.f.s. wird durch jeweilige Geschwindigkeitsunterschiede gerechtfertigt. Naturgemäß ergeben sich fließende Übergänge, z.B. Pat. 15 (22,0 cm/sec), der im Grenzbereich der Untergruppen liegt, was auch die Röntgenaufnahme hinsichtlich der anatomischen Lage des Verschlusses zeigt.

Folgende Mittelwerte lassen sich ermitteln:

Verschluß im proximalen Drittel der a.f.s. 11,25 cm/sec
Verschluß im mittleren Drittel der a.f.s. 29,68 cm/sec
Verschluß im distalen Drittel der a.f.s. 43,64 cm/sec

Erwartungsgemäß wirkt sich die Geschwindigkeitsabnahme besonders da aus, wo die Meßstrecke direkt oder unmittelbar betroffen ist. In dieser Gruppe ergibt sich mit 11,25 cm/sec eine starke Abnahme von der Durchschnittsgeschwindigkeit (47,5 cm/sec), d.h. die durch den Stau bedingte Widerstandserhöhung senkt die Geschwindigkeit um etwa 75 % im Gruppenschnitt. Die mitunter recht erheblichen Unterschiede hinsichtlich der Geschwindigkeit innerhalb dieser Gruppe ergeben sich aus der jeweiligen Entfernung des Verschlusses von der Meßstrecke. So findet sich auf die einzelnen Patienten aufgeschlüsselt eine Geschwindigkeitsreduzierung zwischen 55 % und 90 %.

In der Untergruppe mit Verschlüssen im mittleren Drittel der a.f.s. liegen die Werte dicht beisammen. Wie es scheint, ändert sich der Widerstand trotz Variieren der Verschlüsse innerhalb dieses Bereiches nur unbedeutend und so ergeben sich keine gravierenden Unterschiede hinsichtlich der Geschwindigkeit. Periphere Verhältnisse (Pat. 17/Pat. 39) haben dem Anschein nach für das Zustandekommen der Geschwindigkeit nur geringe Bedeutung; vermutlich überwiegt die durch den unmittelbaren Stau hervorgerufene Widerstandserhöhung alle anderen Einflüsse.

Auffallend erscheint, daß die Durchflußgeschwindigkeit von A VI/2 (29,68 cm/sec) die von A V (31,29 cm/sec) nahezu erreicht. Das steht - wenn man funktionelle Maßstäbe anlegt - auch damit in Einklang, daß die Gehstrecken beider Gruppen annähernd gleich sind (etwa 100 - 200 m).

Auch die Ergebnisse der Untergruppe A VI/3 liegen dicht beisammen, was für die einheitliche Widerstandserhöhung eines Verschlusses in diesem Bereich spricht. Die Durchschnittsgeschwindigkeit ist hoch: 43,6 cm/sec liegt höher als A IV und A V und erreicht fast die Gruppe A III (46,78 cm/sec). Will sagen, daß ein Verschluß im distalen Drittel der a.f.s. die Geschwindigkeit weniger beeinträchtigt als multiple Stenosen der Kategorie IV und V im gesamten Gefäßverlauf. Entsprechend -

wieder funktionell gesehen - ist auch die physiologische Belastbarkeit, also die Gehleistung, etwas besser als bei A IV und A V.

Vergleichsweise fällt auch noch auf, daß mehrere Verschlüsse in der Peripherie (vgl. A I und B) mitunter die Geschwindigkeit im gleichen Ausmaß reduzieren wie ein Verschluß im distalen Drittel der a.f.s.

4.2.3.7 Änderungen der Geschwindigkeit bei path. Veränderungen distal der a.f.s.

In dieser Gruppe werden Patienten diskutiert, die normale Verhältnisse in der a.f.s. aufweisen, aber mitunter peripher stark endangiopathisch verändert sind. Hier ist von besonderem Interesse, inwieweit diese peripheren Veränderungen sich auf die Durchflußgeschwindigkeit im Bereich der Meßstrecke (oberes Drittel der a.f.s.) auswirken.

Es findet sich eine gewisse Abhängigkeit von der Qualität der peripheren Veränderungen, z.B. Pat. 44 (50,4 cm/sec) / Pat. 11 (42,4 cm/sec). Es ergeben sich aber keine Hinweise, daß die Geschwindigkeit von der Durchgängigkeit einer bestimmten Arterie abhängig ist;vielmehr scheint sie aus der Durchgängigkeit der gesamten Peripherie zu resultieren.

Jedenfalls kann festgestellt werden, daß die Durchschnittsgeschwindigkeit dieser Gruppe insgesamt nur unwesentlich gegenüber der Normalgruppe 47,5 cm/sec verringert ist.

Wenn man die Patienten aufschlüsselt in solche mit geringen peripheren Veränderungen (Pat. 3, Pat. 33) und solche mit Verschlüssen der Unterschenkelarterien (Pat. 11), kann folgendes festgehalten werden:

1. Erstere Gruppe unterscheidet sich hinsichtlich der Durchflußgeschwindigkeit in keiner Weise von der Normalgruppe, d.h. kleinere Stenosierungen der Unterschenkelgefäße beeinflussen die Geschwindigkeit an der Kontrollstrecke nicht.

2. In der zweiten Gruppe ergibt sich eine etwa 10 %ige Abnahme der Strömungsgeschwindigkeit gegenüber der Normalgruppe. Dieses Ergebnis entspricht den Werten der Gruppe A I, wo bei Patienten mit Lumeneinengung kleiner 1/8 und peripheren Verschlüssen ebenfalls eine ca. 10 %ige Reduzierung der Geschwindigkeit gefunden wurde. Daraus ließe sich ableiten, daß eine Stenose kleiner 1/8 des Arterienquerschnitts die Strömungsgeschwindigkeit nicht beeinflussen würde. Auch in dieser Gruppe kommt es zu einer Übereinstimmung zwischen Gehleistung und Art der Stenose. Während man bei leichten Einengungen nur Kribbeln in den Zehen bzw. leichte Wadenbeschwerden beobachtet, kommt bei Verschluß der Unterschenkelgefäße nur noch eine Gehleistung von 100 - 200 m zustande. Dies scheint bemerkenswert, weil daraus der Schluß gezogen werden kann, daß Verschlüsse in der Peripherie die Gehleistung teils in dem gleichen Maße beeinflussen, wie es oben für Verschlüsse im Bereich der a.f.s. beschrieben wurde.

4.2.3.8 Geschwindigkeiten der Normalgruppe

In dieser Gruppe wurden die Patienten zusammengefaßt, die angiograph. normale Verhältnisse aufwiesen. Dazu kamen noch die Renovasographiepatienten.

Die ermittelte Durchschnittsgeschwindigkeit beträgt 47,5 cm/sec.

4.3. Ausgewähltes Bildmaterial

Abb. 24

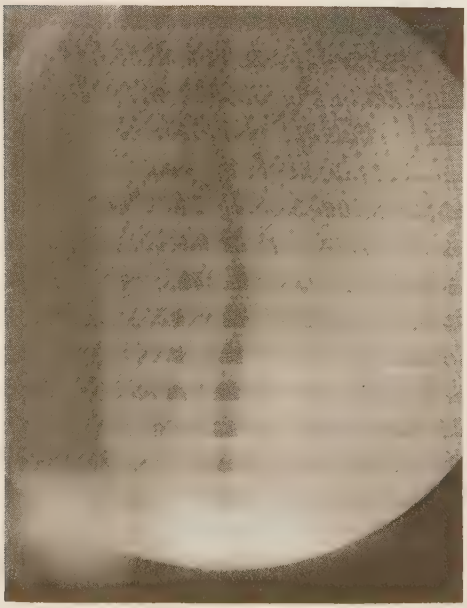


Abb. 25

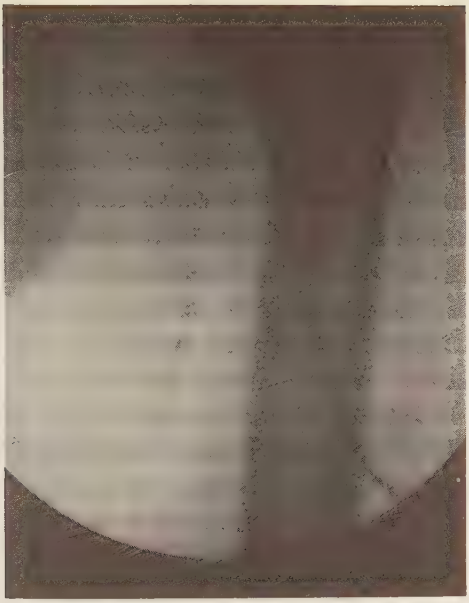


Abb. 26

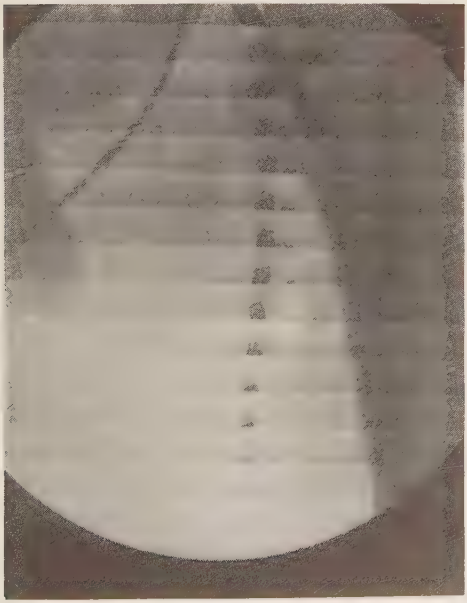


Abb. 27

Abb. 28

Abb. 29

Abb. 30

Abb. 32

Abb. 33

4.4. Verhältnis des Stromvolumens von a.f.s./ a.f.p. bei verschiedener Lokalisation des Verschlusses in der a.f.s.

Bei der Frage, inwieweit Verschlüsse im Verlauf der a.f.s. die Durchblutung dieses Gefäßes und der a.f.p. verändern, ergaben sich folgende Ergebnisse. Zuvor sei noch erwähnt, daß bei der Errechnung der Stromvolumina von einer Nullgeschwindigkeit in der Diastole ausgegangen wurde.

Das scheint nach 2.2.7 zumindest für Patienten mit arteriosklerotischen Gefäßveränderungen der richtige Weg für korrekte Werte.

	Durchblutung ml/min		Anatom. Sitz d. Verschlusses	
	a.f.p	a.f.s.		
Pat. 10 li	168	4	a.f.s.	proximal
Pat. 8 re	114	4,3	"	"
Pat. 36 re	110	0	"	"
Pat. 18 re	121	16,8	"	"
Pat. 28 re	75,5	29,5	a.f.s.	Mitte
Pat. 15 li	136	51,5	"	"
Pat. 39 li	121	96	"	"
Pat. 24 re	0	234	a.f.s.	distal
Pat. 23 re	88	140	"	"
Pat. 2 li	42,5	155	"	"

Tab. 1 Änderung des Stromvolumens in a.f.p und a.f.s. bei verschiedener Lokalisation des Verschlusses in der a.f.s.

1. Bei hohen Verschlüssen der a.f.s. übernimmt die a.f.p. die alleinige Versorgung der unteren Extremität und erreicht dabei hohe Stromvolumina. In der a.f.s. wird dabei nur ein geringes Blutvolumen transportiert.

2. Bei Verschlüssen im mittleren Drittel der a.f.s. kommt der a.f.p. noch die Haupttransportaufgabe zu. Jedoch steigen jetzt die Werte des in der a.f.s. beförderten Blutes langsam an.

3. Bei Verschlüssen der a.f.s. im distalen Drittel nimmt die Durchblutung proximal des Strömungshindernisses wieder stark zu. Die Durchströmung der a.f.p. nimmt dabei bis auf Null ab.

4. Von der Quantität her gesehen ergibt sich die beste Blutversorgung bei Verschlüssen im distalen Drittel der a.f.s. Dadurch wird auch erklärt, warum die Patienten dieser Gruppe (vgl. 4.2.3.6) eine relativ große Strecke bis zum Auftreten des Ischämieschmerzes zurücklegen konnten.

5. Die niedrigsten Stromvolumina (Summe der Stromvolumen der a.f.s. und a.f.p.) kommen bei proximalen Verschlüssen der a.f.s. vor. Wie es scheint, kann dabei die Transportleistung der a.f.p. nicht unbegrenzt ausgedehnt werden. Vor allem unter Belastung wird der erhöhte Blutbedarf nicht mehr gedeckt.

Zusammenfassend kann gesagt werden, daß die Stromvolumina in der a.f.s. um so größer sind, desto weiter der Verschluß nach distal rückt. Umgekehrt verhält es sich bei der a.f.p.

4.5 Vergleich der Geschwindigkeit in a.f.s und a.f.p. bei Lumeneinengungen größer 50 % bzw. bei Verschlüssen

Wie bereits beschrieben, bilden sich von Einengungen des Arterienquerschnitts größer 50 % Kollateralkreisläufe aus. Von diesem kritischen Wert an beginnt sich auch die a.f.p. hinsichtlich ihrer distalen Ausbreitung auszudehnen und versucht Anschluß an unterhalb des Strömungshindernisses gelegene Seitenäste zu gewinnen.

In diesem Zusammenhang vorgenommene Geschwindigkeitsvergleiche zwischen a.f.s und a.f.p. ließen folgende Erkenntnisse zu:

1. Bei allen untersuchten Fällen mit Lumeneinengungen größer 50 % ergab sich eine kymographische Darstellung der a.f.p. bis weit nach distal. Dabei war die Geschwindigkeit über die ganze Meßstrecke im Bereich des oberen Femurdrittels gleich hoch wie in der a.f.s. Im Vergleich mit der Normalgruppe zeigte sich nämlich, daß die a.f.p. - falls sie kymographisch überhaupt abgebildet wurde - meist nur über wenige Rasterfelder hinweg die gleiche Geschwindigkeit wie die a.f.s. hatte.

2. Bei Verschlüssen im proximalen und mittleren Drittel der a.f.s. war die Geschwindigkeit der a.f.p. in nahezu allen Fällen höher als die der a.f.s. Die höchste gemessene systolische Durchschnittsgeschwindigkeit betrug dabei 52,5 cm/sec.

3. Bei Verschlüssen im distalen Drittel der a.f.s. ist in der Regel die Geschwindigkeit in der a.f.s. wieder höher als die in der a.f.p.

	mittl. systol. Geschw. cm/sec a.f.p.	a.f.s.	Anatom Sitz d. Verschlusses	
Pat. 10 li	46,7	10,8	a.f.s.	prox.
Pat. 8 re	37,5	8,1	"	"
Pat. 36 re	21,8	0	"	"
Pat. 18 re	33,6	11,7	"	"
Pat. 28 re	42,5	32,7	a.f.s.	Mitte
Pat. 15 li	36,2	22,0	"	"
Pat. 39 li	31,4	31,4	"	"
Pat. 24 re	0	42,0	a.f.s.	distal
Pat. 23 re	52,7	44,4	"	"
Pat. 2 li	23,7	40,0	"	"

Tab. 2 Änderung der Geschwindigkeit in a.f.p und a.f.s. bei verschiedener Lokalisation des Verschlusses

Insgesamt gesehen kommen bei Bedarf in der a.f.p. relativ hohe Geschwindigkeiten vor, was meistens eine ausreichende Ruhedurchblutung zur Folge hat.

4.6 Kymographie und parabolisches Geschwindigkeitsprofil

Schon früh tauchte bei den Versuchen das Problem auf, warum die KM-Front im Kymogramm nicht das in 2.2.1, 2.2.3 und 2.2.4 beschriebene Aussehen hatte, sondern vollkommen waagrecht, d.h. parallel zu den Trennstreifen der Rasterfelder verlief.

Inzwischen kann jedoch folgende Erklärung angeboten werden. Wie in 3.2 dargelegt, werden in jedem Rasterfeld in 1,8 sec 32 Zeilen nacheinander hellgetastet. Angenommen die Spitze des KM - Bolus wird gerade noch von der Zeile x erfaßt, dann hat die KM-Spitze bis zu dem Zeitpunkt, an dem die nächste Zeile y geschrieben wird, (nach 0,06 sec) bei einer mittleren systolischen Geschwindigkeit von 50 cm/sec 3 cm, bei einer Geschwindigkeit von 30 cm/sec 1,8 cm zurückgelegt.

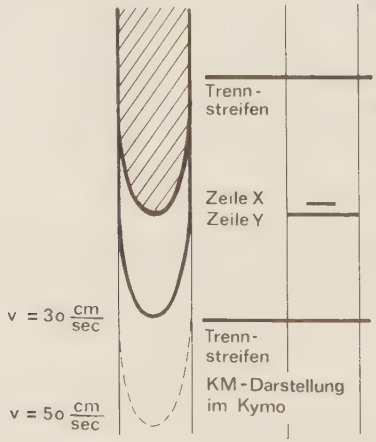


Abb.34 KM-Fortschreiten in der a.f.s.

In beiden Fällen wird dann von der Zeile y nicht mehr eine parabolische Spitze, sondern eine das ganze Gefäßlumen einnehmende KM-Front erfaßt.

4.7 Kymographie und diastolischer Rückfluß

Auch das unter 2.2.6 und 2.2.7 diskutierte Phänomen des diastolischen Rückflusses in Aorta und a. femoralis konnte kymographisch nicht dargestellt werden.

Hierfür war jedoch die Erklärung einfacher. Wie in 3.2 beschrieben, verläuft bei der hier gewählten Kymographiemethode die Helltastung der Zeilen von dem jeweils oberen Trennstreifen der Rasterfelder zum nächst unteren (also auch in Ausbreitungsrichtung der Strömung in der a.f.s.). Aus dem oben dargestellten Zeilenablauf folgt, daß rückläufige Strömungen in der a.f.s. aus methodischen Gründen nicht erfaßt werden können.

5.0 Diskussion und Vergleich der Ergebnisse mit anderen Autoren

5.1 Strömungsgeschwindigkeiten

Leider fanden sich in der gesamten eingesehenen Literatur keine exakten Angaben über die sich phasisch ändernden Strömungsgeschwindigkeiten in der a.f.s., obwohl viele Autoren Methoden zur Geschwindigkeitsmessung beschreiben (4,17). Auch GÜNTERT/ZIMMER (10,11), die schon 1948 großangelegte kymographische Versuche am Strömungsmodell unternahmen, unterzogen ihre im Labor gewonnenen Ergebnisse keiner praktisch klinischen Erprobung. Lediglich bei GABE (8) fand ich Angaben über systolische Spitzengeschwindigkeiten der Aorta, die zwischen 44 und 104 cm/sec lagen. Bei BARTL (6) stieß ich auf die in 2.2.7 erwähnte Geschwindigkeitskurve nach THURAU, welche mit meinen Ergebnissen gut übereinstimmt. Danach liegt die systolische Spitzengeschwindigkeit bei 100 cm/sec und eine aus der graphischen Darstellung gewonnene mittlere systolische Geschwindigkeit würde mit der von mir ermittelten (47,5 cm/sec für die Normalgruppe) in Einklang stehen.

5.2 Gehleistung und Kollateralen

Mit WAIBEL (21), HILD, BRECHT, NOBBE (14) besteht Übereinstimmung, daß erst ab Lumeneinengungen größer 50 % unter physiologischer Belastung Einschränkungen der Gehleistung zu beklagen sind.

Jedoch sind durch die Ausbildung von Kollateralen - die auch in den in dieser Arbeit untersuchten Fällen von einer Einengung des Arterienquerschnitts grösser 50 % an beginnt - oft auch bei Verschlüssen keine Symptome vorhanden (20).

5.3 Durchblutung der arteriosklerotisch veränderten Oberschenkelgefäße

Mit ANSCHÜTZ und HERBERGER(2) ergibt sich im Gegensatz zu HESS (13) und AMERY (1) in dem Punkt Übereinkunft, daß schon bei Einengungen größer 50 % die Ruhedurchströmung der a. femoralis herabgesetzt ist. Dieses Ergebnis stützt auch die Untersuchung von MEYER-BURGDORF (15), der herausfand, daß bei Patienten mit Durchblutungsstörungen (ohne Ruheschmerz!) die Sauerstoffspannung in der Muskulatur des Unterschenkels deutlich herabgesetzt war. Dieser Befund erklärt sich durch die vermehrte Sauerstoffausnutzung infolge des verminderten Ruhestromvolumens.
Mit ANSCHÜTZ und HERBERGER (2) kommt auch die hier vorliegende Arbeit zu dem Ergebnis, daß

1. ein großer Teil der Durchblutung bei Verschluß der a.f.s. durch die a.f.p. ersetzbar ist;

2. mit abnehmender Durchblutung der a.f.s. die Durchblutung der a.f.p. zunimmt;

3. bei ausreichender Durchblutung der a.f.s. keine nennenswerten Stromvolumina in der a.f.p. zu finden sind;

4. die Durchblutung der a.f.s. bei tiefsitzenden Verschlüssen nur gering vermindert ist.

6.0 Zusammenfassung

Mit der Videokymographie wurde eine rationelle Methode zur Messung der Durchflußgeschwindigkeit in der Angiographie vorgestellt. Das während einer Probeinjektion aufgenommene Videokymogramm erlaubt eine schnelle Übersicht der Strömungsverhältnisse im gesamten Bildbereich und ist deshalb für die Auswertung eines großen Patientengutes geeignet.

In der vorliegenden Arbeit wurde nach diesem Verfahren die mittlere systolische Geschwindigkeit im proximalen Drittel der a.f.s. an einer Normalgruppe und bei Patienten mit Claudicatio intermittens unter Ruhebedingungen gemessen. Für die Normalgruppe ergab sich im Durchschnitt eine Geschwindigkeit von 47,5 cm/sec. Bei einer Lumeneinengung<25 % erhöhte sich die Geschwindigkeit der Blutströmung auf 55,0 cm/sec, während sie bei Stenosierungen der Gefäßlichtung>75 % auf 31,2 cm/sec absank.

Verschlüsse im distalen Drittel der a.f.s. beeinflußten die Flußgeschwindigkeit an der Kontrollstrecke nur gering. Verschlüsse der Unterschenkelarterie vermindern die Geschwindigkeit an der Meßstrecke um etwa 10 %. Bei Verschlüssen der a.f.s. im proximalen und mittleren Drittel steigen die Geschwindigkeit und das Stromvolumen in der a.f.p.

stark an, während bei normaler oder nur geringfügig veränderter a.f.s. keine wesentliche Durchblutung der a.f.p. stattfindet.

7.0 Literatur

1.AMERY, A.:
Muscle Blood Flow In Normal Subjects And In Patients With Intermittent Claudication Of The Legs.
Acta Cardiologica (Brux.)
24: 170 - 183, (1969)

2.ANSCHÜTZ, F. und E. HERBERGER:
Hämodynamische Untersuchungen an den Oberschenkelarterien bei obliterierenden arteriellen Gefäßerkrankungen.
Zeitschrift für Kreislaufforschung
51: 495 - 503, (1962)

3.ANSCHÜTZ, F. und F. HEUCK:
Kreislaufuntersuchungen am Menschen mit der Serienangiographie.
RöFo 91: 512 - 517, (1959)

4. ANSCHÜTZ, F. und H.J. SCHWARZKOPF:
Über die Blutströmung in der a.femoralis bei pathologischen Kreislaufzuständen des Menschen.
Zeitschrift für Kreislaufforschung
51: 33 - 39, (1962)

5. ANSCHÜTZ, F. und F. HEUCK:
Über die durch Aortensklerose verursachten Veränderungen der arteriellen Blutströmung.
Zeitschrift für Kreislaufforschung
49: 120 - 128, (1960)

6.BARTL, R.:
Röntgenkinematographie der Nierenarterien:
Strömungsgeschwindigkeit - Pulsationen.
Dissertation München (1970)

7.BÖLLINGER, A.:
Periphere Zirkulation.
In: W.SIEGENTHALER,
Klinische Pathophysiologie,
Thieme, Stuttgart
613 - 643, (1973)

8.GABE, W. et al.:
Measurement Of Instantaneous Blood Flow
Velocity And Pressure In Conscious Man
With A Catheter-Tip Velocity Probe.
Circulation 40: 603 - 614, (1969)

9.GANONG, W.F.:
Medizinische Physiologie
Springer, Berlin-Heidelberg-New York
516 - 531, (1971)

10.GÜNTERT, W. und E.A. ZIMMER:
Experimentelle Untersuchungen über eine
röntgenkymographische Methode zur Messung
der Strömungsgeschwindigkeit des Blutes.
Experimentia 4: 319 - 321, (1948)

11.GÜNTERT, W. und E.A. ZIMMER:
Grundlagen für die Messung der Strömungs-
geschwindigkeit mittels einer röntgenkymo-
graphischen Meßmethode.
Karger, Basel
70 - 187, (1957)

12.HEBERER, G. et al.:
Aorta und große Arterien
Springer, Berlin-Heidelberg-New York
56 - 100, (1966)

13.HESS,H.:
Die obliterierenden Gefäßerkrankungen
Urban und Schwarzenberg, München
(1959)

14.HILD, R., BRECHT, Th. und F. NOBBE:
Krankheiten der Arterien.
In: G.SCHETTLER,
Innere Medizin,
Thieme, Stuttgart
Bd. 1, 221 - 250, (1972)

15.MEYER-BURGDORF, G.:
Sauerstoffspannung der Muskulatur bei
gefäßbedingten Durchblutungsstörungen.
Langenbecks Archiv klin.Chirurgie
294: 1 - 7, (1960)

16.RUTISHAUSER, W.:
Herz.
In: W.SIEGENTHALER,
Klinische Pathophysiologie,
Thieme, Stuttgart
480 - 541, (1973)

17.SCHNEIDER, K.:
Zur Problematik der Messung der Blut-
strömungsgeschwindigkeit.
Therapie der Gegenwart
102: 451 - 460, (1963)

18.SOBOTTA-BECHER:
Atlas der Anatomie des Menschen.
Urban und Schwarzenberg, München
Bd. 3, 181 - 192, (1973)

19.SOUSA, A. de:
Die Röntgenkymographie bei der Untersuchung des Lungenkreislaufes.
Radiol.clin. 18: 18 - 30, (1949)

20. TISO,B.:
Zur Wertigkeit der quantitativen Durchblutungsmessung bei peripheren arteriellen Verschlußkrankheiten.
Zeitschrift für Innere Medizin
47: 499 - 502, (1966)

21.WAIBEL, P.:
Gefäßchirurgie.
In: M.ALLGÖWER,
Allgemeine und Spezielle Chirurgie,
Springer, Berlin-Heidelberg-New York
250 - 285, (1973)

22.WALDEYER,A.:
Anatomie des Menschen.
De Gruyter, Berlin
Bd. 1, 407 - 427, (1973)

23.WELLAUER, J.:
Die abdominelle Aortographie.
Arteriographie der Extremitäten.
In: H.R. Schinz et al.,
Röntgendiagnostik, Ergebnisse 1952 - 1956,
Thieme, Stuttgart
(1957)

24.WETTERER, E.:
Bau und Funktion des Gefäßsystems.
In:W.KEIDEL, Physiologie,
Thieme Stuttgart
96 - 135, (1967)

25.ZEHNDER, M.:
Vasokymogramm und Gefäßdurchblutung.
Helv.chir.acta 65 - 72 (1948)

Herrn Prof. Dr. med. J. Lissner bin ich zu Dank verpflichtet für die Überlassung des Themas,sowie für seine Hilfsbereitschaft bei der Schaffung optimaler technischer Voraussetzungen, ohne die die Durchführung der Arbeit in dieser Form nicht möglich gewesen wäre.

Herrn OA. Dr. H. Haendle gebührt mein Dank für seine unermüdliche Unterstützung und sein stetiges Interesse am Fortgang der Arbeit.

Herrn Prof. Dr. med. H. Hess möchte ich danken für die Überlassung seiner Patienten, sowie für viele wertvolle Anregungen.

Für die Unterstützung und Beratung, die mir bei der Durchführung dieser Arbeit jederzeit gewährt wurde, bedanke ich mich bei den Ärzten und Assistentinnen in der Zentralen Röntgenabteilung der Poliklinik, sowie nicht zuletzt bei Herrn Dipl. Phys. M. Schätzl.

Lebenslauf

Am 13.12.1949 wurde ich als Sohn der Eheleute Erich und Waltraud Wölfle, geb. Eger, in Augsburg geboren. Nach 4-jährigem Besuch der Volksschule trat ich in das Humanistische Gymnasium bei St. Stephan ein, wo ich 1969 das Abitur ablegte.

Im Wintersemester 1969/70 begann ich an der Universität München das Studium der Humanmedizin. Aufgrund meiner Abitur-, Vorphysikums- und Physikumsergebnisse erhielt ich während des ganzen Studiums ein Stipendium nach dem Bayer. Begabtenförderungsgesetz.

Im Dezember 1975 bestand ich an der obengenannten Universität die ärztliche Prüfung.

Seit 12.1.1976 bin ich an der II. Med. Klinik (Direktor: Prof. Dr. med. D. Renner) in Augsburg als Medizinalassistent tätig.